

**TUGAS AKHIR ( NA 1701 )**

**ANALISA LAJU KOROSI STAINLESS STEEL  
E 304 AKIBAT PENGARUH DERAJAT  
KEASAMAN PADA MEDIA  
KALIUM KLORIDA ( KCl )**



RSPE  
623.848  
Sul  
21-1  
1999

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	6-7-2000
Terima	H
No. Agenda Pap.	21.700

Oleh :  
**ARIEF SULISTIYONO**  
4193 100 040

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA**



## LEMBAR PENGESAHAN

# ANALISA LAJU KOROSI STAINLESS STEEL E 304 AKIBAT PENGARUH DERAJAT KEASAMAN PADA MEDIA KALIAM KLOORIDA ( KCI )

Laporan ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
pada

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya



Surabaya,            Pebruari 1999

Mengetahui,  
Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Heri Soepomo", written over a horizontal line.

Ir. Heri Soepomo, MSc

## LEMBAR PENGESAHAN

Telah direvisi sesuai dengan hasil sidang Ujian Tugas Akhir dengan judul :

**ANALISA LAJU KOROSI STAINLESS STEEL E 304**

**AKIBAT PENGARUH DERAJAT KEASAMAN**

**KALIUM KLORIDA ( KCl )**

Oleh :

**ARIEF SULISTIYONO**

**NRP : 4193 100 040**

Surabaya, 22 Pebruari 1999

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing Tugas Akhir

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Heri Soepomo', enclosed within a decorative, hand-drawn frame.

**Ir. Heri Soepomo, MSc**

**NIP : 131 842 506**

***Tugas Akhir ini penulis persembahkan  
kepada orang-orang tercinta, ayahanda  
Nakman Arief Mushaffa, ibunda Siti  
Rochillah, adikku tersayang Bagus, Caesar,  
serta terkhusus buat belahan jiwaku  
Ir.Erning***



## ABSTRAKS

Korosi dapat diartikan sebagai kerusakan dari material akibat terjadinya reaksi dengan lingkungannya yang didukung oleh faktor-faktor tertentu. Peristiwa korosi ini dapat terjadi di mana saja, baik di material besi ataupun non besi. Dari reaksi korosi yang terjadi, dapat mengakibatkan kerusakan-kerusakan pada material, sehingga dapat mengakibatkan kerugian baik bagi pemiliknya atau pemakainya. Maka dari itu, berkenaan dengan permasalahan yang ada, disini penulis akan melakukan mengujian tentang pencegahan korosi atau penghambatan terhadap laju korosi dengan melakukan penempelan logam aktif pada permukaan logam dasar melalui proses elektrokimia, yang selanjutnya proses tersebut disebut sebagai *proteksi katodik*. Proses percobaan ini dilakukan dengan cara menempelkan logam lain yang mempunyai potensial yang lebih tinggi pada logam dasar, yang selanjutnya dapat dipakai sebagai pelindung ( proteksi ) bagi logam dasar dari proses korosi tersebut. Dalam percobaan ini dilakukan dengan melakukan proteksi melalui dua buah logam, yaitu logam seng ( Zn ) dan aluminium ( Al ) dalam suatu larutan yang mempunyai derajat keasaman yang berbeda-beda.

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrhiiim,*

Alhamdulillah rabbil ‘alamin, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas karunia-Nya yang sangat besar, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini yang berjudul “ **ANALISA LAJU KOROSI STAINLESS STEEL E 304 AKIBAT PENGARUH DERAJAT KEASAMAN PADA MEDIA KALIUM KLORIDA ( KCl )** “ ini.

Laporan Tugas Akhir ini penulis lakukan dengan tujuan sebagai salah satu syarat untuk mengikuti wisuda S-1 pada Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yang tentunya tidak dapat disebutkan satu-persatu disini. Terima kasih khusus penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Ir. Koestowo Sastromihardjo, selaku ketua Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Bapak Ir. Heri Soepomo, MSc, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

3. Bapak Ir. Andjar Soeharto selaku dosen wali dan para Dosen serta Karyawan FTK-ITS lainnya yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan selama penulis menimba ilmu di FTK-ITS.
4. Mas Slamet selaku karyawan laboratorium Jurusan D-3 Teknik Kimia ITS yang banyak memberikan bantuan kepada penulis selama melakukan penelitian di laboratorium D-3 Teknik Kimia ITS.
5. Teman-teman seperjuangan di Teknik Perkapalan ITS : Yuli Bantul, Shindu dengan filmnya, Mbah Abu , Ali Singo, Fauzi, Rian, Rusli, Andri, Anda Ndanda, Hartono 'Hartsar', dan rekan-rekan Perkapalan '93 ( P'33 ) semua dengan kebersamaannya yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu , serta teman-teman di 'Dji Samsoe Apartement', serta Yasir dengan pinjaman alatnya.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari sempurna, namun penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada penulis khususnya, dan kepada teman-teman pada umumnya. Amin.

Surabaya,        Pebruari 1999

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	i
Abstrak .....	iii
Dafatr Isi .....	iv
Daftar Gambar .....	vi
Daftar Tabel .....	viii
Daftar Notasi .....	ix
Daftar Lampiran Tabel .....	x
Daftar Lampiran Gambar .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Penelitian .....	2
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	5
1.6 Metodologi .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>9</b>
2.1 Definisi Korosi .....	9
2.2 Korosi Galvanik .....	11
2.2.1 Pengertian Korosi Galvanik .....	11





2.2.2	Mekanisme Terjadinya Korosi Galvanik .....	12
2.2.3	EMF Dan Korosi Galvanik .....	14
2.2.4	Mekanisme Korosi Dalam Medium Elektrolit ....	16
2.2.5	Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Proses Korosi Galvanik .....	17
2.3	Proteksi Katodik .....	20
2.4	Polarisasi .....	22
2.5	Laju Korosi .....	27
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>30</b>
3.1	Peralatan Penelitian .....	30
3.2	Bahan Penelitian .....	32
3.3	Prosedur Pengujian .....	34
<b>BAB IV</b>	<b>ANALISA DATA HASIL PERCOBAAN .....</b>	<b>39</b>
4.1	Analisa Derajat Keasaman .....	39
4.2	Analisa Anoda Tumbal .....	40
4.3	Laju Korosi .....	43
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>51</b>
5.1	Kesimpulan .....	51
5.2	Saran .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>53</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>54</b>



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1.1. ....	7
Gambar 2.1. ....	13
Gambar 2.2. ....	16
Gambar 2.3. ....	23
Gambar 2.4. ....	24
Gambar 2.5. ....	25
Gambar 2.6. ....	26
Gambar 3.1. ....	30
Gambar 3.2. ....	37
Gambar 3.3. ....	38
Gambar 4.1. ....	40
Gambar 4.2. ....	50
Gambar 6.1. ....	80
Gambar 6.2. ....	81
Gambar 6.3. ....	82
Gambar 6.4. ....	83
Gambar 6.5. ....	84





Gambar 6.6. ....	85
Gambar 6.7. ....	86
Gambar 6.8. ....	87
Gambar 6.9. ....	88
Gambar 6.10. ....	89
Gambar 6.11. ....	90
Gambar 6.12. ....	91
Gambar 6.13. ....	92
Gambar 6.14. ....	93
Gambar 6.15. ....	94
Gambar 6.16. ....	95
Gambar 6.17. ....	96
Gambar 6.18. ....	97
Gambar 6.19. ....	98
Gambar 6.20. ....	99
Gambar 6.21. ....	100
Gambar 6.22. ....	101
Gambar 6.23. ....	102
Gambar 6.24. ....	103
Gambar 6.25. ....	104
Gambar 6.26. ....	105
Gambar 6.27. ....	106



DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
Tabel 2.1. ....	15
Tabel 2.2. ....	19
Tabel 2.3. ....	21
Tabel 3.1. ....	33
Tabel 4.1. ....	46
Tabel 4.2. ....	47
Tabel 4.3. ....	47
Tabel 4.4. ....	48
Tabel 4.5. ....	49
Tabel 6.1. ....	53
Tabel 6.2. ....	54
Tabel 6.3. ....	55
Tabel 6.4. ....	56
Tabel 6.5. ....	57
Tabel 6.6. ....	58
Tabel 6.7. ....	59
Tabel 6.8. ....	60
Tabel 6.9. ....	61



Tabel 6.10.	62
Tabel 6.11.	63
Tabel 6.12.	64
Tabel 6.13.	65
Tabel 6.14.	66
Tabel 6.15.	67
Tabel 6.16.	68
Tabel 6.17.	69
Tabel 6.18.	70
Tabel 6.19.	71
Tabel 6.20.	72
Tabel 6.21.	73
Tabel 6.22.	74
Tabel 6.23.	75
Tabel 6.24.	76
Tabel 6.25.	77
Tabel 6.26.	78
Tabel 6.27.	79

## DAFTAR NOTASI

$E_{\text{cor}}$	: potensial baku
$\epsilon_a$	: potensial lebih
GGL	: Gaya Gerak Listrik, atau penghasil tegangan listrik
$i$	: laju oksidasi atom reduksi yang dinyatakan sebagai kerapatan arus yang terjadi
$i_0$	: Exchange Current Density, yaitu arus dalam keadaan kesetimbangan
mV	: mili volt
mA	: mili Ampere
mm/y	: milimeter per year
M	: berat molekul ( BM )
pH	: derajat keasaman
SS	: Stainless Steel
V	: laju korosi
$\rho$	: densitas logam yang terkorosi
$\beta$	: konstanta

## DAFTAR LAMPIRAN TABEL

Tabel 6.1.	53
Tabel 6.2.	54
Tabel 6.3.	55
Tabel 6.4.	56
Tabel 6.5.	57
Tabel 6.6.	58
Tabel 6.7.	59
Tabel 6.8.	60
Tabel 6.9	61
Tabel 6.10.	62
Tabel 6.11.	63
Tabel 6.12.	64
Tabel 6.13.	65
Tabel 6.14.	66
Tabel 6.15.	67
Tabel 6.16.	68
Tabel 6.17.	69
Tabel 6.18	70
Tabel 6.19.	71
Tabel 6.20.	72
Tabel 6.21.	73
Tabel 6.22.	74
Tabel 6.23.	75
Tabel 6.24.	76
Tabel 6.25.	77
Tabel 6.26.	78
Tabel 6.27	79



## DAFTAR LAMPIRAN GAMBAR

Gambar 6.1. ....	80
Gambar 6.2. ....	81
Gambar 6.3. ....	82
Gambar 6.4. ....	83
Gambar 6.5. ....	84
Gambar 6.6. ....	85
Gambar 6.7. ....	86
Gambar 6.8. ....	87
Gambar 6.9. ....	88
Gambar 6.10. ....	89
Gambar 6.11. ....	90
Gambar 6.12. ....	91
Gambar 6.13. ....	92
Gambar 6.14. ....	93
Gambar 6.15. ....	94
Gambar 6.16. ....	95
Gambar 6.17. ....	96
Gambar 6.18. ....	97
Gambar 6.19. ....	98
Gambar 6.20. ....	99
Gambar 6.21. ....	100
Gambar 6.22. ....	101
Gambar 6.23. ....	102
Gambar 6.24. ....	103
Gambar 6.25. ....	104
Gambar 6.26. ....	105
Gambar 6.27. ....	106



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Saat ini di Indonesia sedang giat-giatnya membangun untuk menuju kemakmuran bersama. Tujuan dari pembangunan adalah menciptakan masyarakat adil dan makmur baik material maupun spiritual. Khusus dalam pembangunan material, banyak sekali elemen pendukung yang menyertainya, antara lain adalah pembangunan transportasi. Dengan transportasi, maka hasil-hasil pembangunan dapat di transfer dari satu daerah ke daerah lainnya dengan mudah dan cepat. Dapat dikatakan bahwa transportasi sangat menunjang kelancaran produksi dan pemasaran yang menjadi tulang punggung dari industri. Dari sini, maka penting sekiranya kita semua untuk menaruh perhatian dalam bidang transportasi tersebut. Salah satu penerapan perhatian kita adalah dengan mengadakan perawatan ( maintenance ) yang baik terhadap alat transportasi. Macam-macam perawatan yang dapat dilakukan ada banyak sekali, antara lain perawatan mesin, perawatan alat-alat pendukung, perawatan bodi dari korosi, dan lain-lainnya yang masuk dalam kategori sebagai perawatan. Dalam tulisan ini, kita akan membahas khusus mengenai masalah korosi dan pencegahannya, atau yang lebih tepat disebutkan pengurangan efek korosi yang dapat merusak dan mengganggu kelancaran transportasi, dan dapat pula di aplikasikan dalam perawatan dan pengelolaan alat-alat transportasi dan alat-alat yang sejenis lainnya baik dalam bidang transportasi atau bidang yang lainnya.

## I.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN

Korosi diartikan sebagai kerusakan atau keausan ( mutu ) dari material logam akibat terjadinya reaksi elektrokimia dengan lingkungannya yang didukung oleh faktor-faktor tertentu ( *J. Chamberlain, " Korosi , Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan "*, 1991).

Peristiwa korosi ini dapat terjadi di mana saja, baik di logam besi dan logam jenis lainnya, bahkan di material non besi. Dari peristiwa korosi yang terjadi ini, akan dapat menimbulkan kerusakan yang mengakibatkan kerugian baik secara ekonomi atau keamanan.

Dalam tulisan ini, kita akan membahas tentang korosi yang terjadi pada material besi, khususnya Stainless Steel E 304 yang banyak digunakan untuk bahan baku konstruksi, khususnya untuk pelapis bagian dalam pada konstruksi tangki. Sering kita menjumpai kejadian dimana suatu konstruksi dari besi yang mengalami kerusakan dan kebocoran yang disebabkan oleh adanya korosi. Maka dari itu, kita akan membahas tentang perhitungan laju korosi untuk mendapatkan kecepatan korosi pada logam, yang selanjutnya dapat dipakai untuk menghitung berapa besar pengikisan terhadap logam oleh proses korosi setiap tahunnya ( milimeter per year atau mmpy ), serta melakukan percobaan dengan membandingkan mutu antara aluminium dan seng yang digunakan sebagai pelindung ( proteksi ) untuk besi pada proses korosi . Proses percobaan itu dilakukan dengan jalan menempelkan logam aktif pada permukaan logam dasar melalui proses elektrokimia, yang selanjutnya proses tersebut disebut proses *proteksi katodik*.



Penelitian ini dilakukan, karena dari berbagai kasus yang terjadi di lapangan membuktikan bahwa bahan-bahan kimia sangat bersifat korosif terhadap logam, meskipun logam tersebut stainless steel. Dari alasan itu, maka perlu dilakukan suatu pengujian yang bertujuan agar kejadian diatas dapat ditangani dengan baik, atau paling tidak diupayakan untuk mencari solusi bagaimana agar laju korosi tersebut dapat dihambat atau di perlambat. Salah satu cara adalah dengan jalan melapisi konstruksi baja dengan baja stainless steel, khususnya SS E 304 yang tahan terhadap karat. Logam SS E 304 ini bukannya tidak bisa berkarat, tetapi hanya lebih tahan di bandingkan dengan logam non stainless steel. Tetapi walaupun telah dilakukan pelapisan dengan stainless steel, proses korosi masih juga dapat berlangsung pada permukaan logam tersebut. Maka dari itu, dilakukan penelitian dengan mengkouple atau menghubungkan logam stainless steel tersebut dengan logam lain yang tidak sejenis, khususnya yang akan dilakukan disini adalah menggunakan logam aluminium dan seng. Untuk lebih jelasnya mengenai proses korosi dan laju korosi antara logam-logam yang di couple dengan yang tanpa di couple dapat dilihat pada bab lain di dalam laporan ini.

## 1.2. PERUMUSAN MASALAH

Untuk memecahkan permasalahan dengan baik, maka harus dirumuskan dengan jelas bagaimana jalannya pemecahan masalah tersebut. Adapun permasalahannya yaitu : korosi galvanik dipengaruhi oleh derajat keasaman ( pH ), medium pengkorosif, dan jenis logam yang berhubungan langsung

( kontak ) ketika hal tersebut dipakai sebagai variabel penelitian. Kemudian dari permasalahan itu dibuat suatu pertanyaan tentang pengaruh derajat keasaman ( pH ) dari media kalium klorida ( KCl ).

### **I.3. TUJUAN PENELITIAN**

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa logam aluminium dan seng bisa digunakan untuk melindungi besi dari korosi secara proteksi katodik, serta membandingkan kualitas keduanya. Sedangkan secara khusus bertujuan untuk :

- Menghitung laju korosi stainless steel Austenitic Type E 304 pada medium pengkorosif kalium klorida ( KCl ), dengan tanpa dikopel maupun dalam keadaan di kopel dengan logam proteksi yang berbeda dengan logam utama, yaitu menggunakan seng ( Zn ) dan aluminium ( Al).
- Mengetahui pengaruh derajat keasaman terhadap laju korosi pada stainless steel Austenitic Type E 304 antara yang diproteksi dan yang tidak diproteksi.

### **I.4. MANFAAT PENELITIAN**

Diharapkan laporan dan data dari hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai berikut :

- Untuk memperkirakan lamanya beroperasi ( life time ) dari ketebalan konstruksi lambung kapal dan konstruksi tangki pada kapal tanker yang

akan dibangun, khususnya yang menggunakan logam SS E 304 dengan muatan KCl atau pupuk KCl.

- Dari penelitian tersebut dapat diperoleh suatu data yang menunjukkan besarnya laju korosi pada logam stainless steel E 304 pada berbagai macam kondisi derajat keasaman ( pH ) kalium klorida ( KCl ) sebagai medianya.
- Memberikan informasi tentang besarnya laju korosi pada material stainless steel E 304 dalam media kalium klorida bagi ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang kimia dan konstruksi, sehingga dapat digunakan sebagai referensi dan acuan untuk penelitian dan perhitungan selanjutnya bagi kedua bidang tersebut.

## **I.5. BATASAN MASALAH**

Karena permasalahan korosi galvanis sangat luas, maka untuk mencapai tujuan yang ingin dicapai harus dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

- Penelitian dilakukan pada suhu kamar, sehingga elektrolit tidak dibahas secara rinci.
- Perbandingan luas permukaan antara logam katoda dan anoda adalah konstan.
- Diasumsikan permukaan tangki terkorosi secara merata tanpa melihat dari bentuk konstruksi permukaan tangki.
- Distribusi elektron dari logam yang dikopel adalah merata.



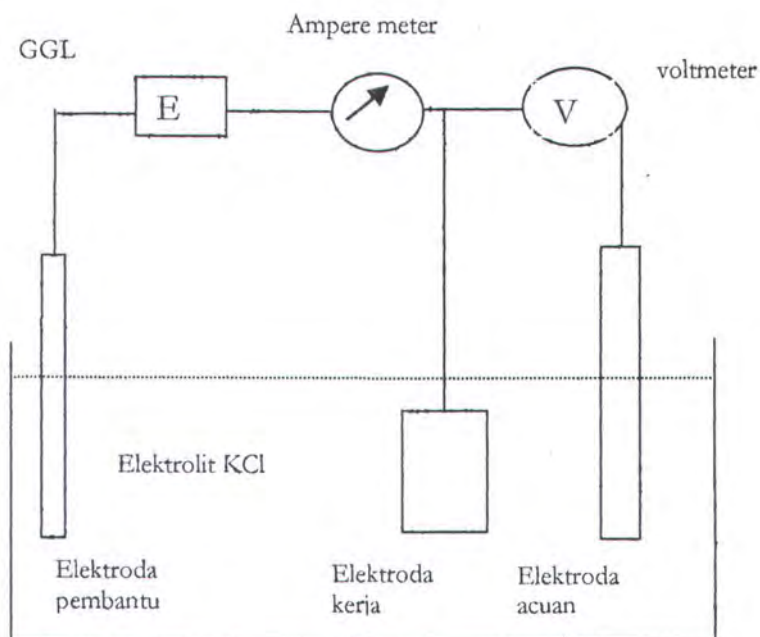
- Sistem proteksi katodik ini juga dapat diterapkan dalam merancang konstruksi tangki pada kapal pengangkut bahan kimia, khususnya kalium klorida ( KCl ) dan pupuk KCl.
- Karena adanya keterbatasan waktu untuk penelitian, maka sekiranya masih ada kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini, penulis minta maaf dan harap maklum.

## 1.6. METODOLOGI

Metode yang dipakai untuk penelitian ini adalah dengan menggunakan metode elektrokimia dan teknik polarisasi yang menggunakan instrumen potensiostat, yaitu suatu alat untuk mengatur beda potensial antara spesimen ( elektroda kerja ) dengan elektrode acuan dan menggunakan variabel arus antara spesimen dengan elektroda pembantu. Besarnya elektron yang mengalir diantara elektrode kerja dengan elektrode pembantu tersebut besarnya sebanding dengan besarnya arus yang mengalir diantara dua elektrode itu. Jadi untuk menghitung laju korosi dengan variabel arus sebagai masukan, dapat diperoleh dari data perhitungan arus yang mengalir diantara dua elektroda tersebut.

Sebagai permulaan kerja, siapkan seperangkat alat kerja seperti pada Gambar 1.1 di bawah ini, yang selanjutnya alat tersebut disebut sebagai sel tiga elektroda, karena menggunakan tiga buah elektroda , yaitu elektroda kerja ( working electrode ), elektroda pembantu, dan elektroda acuan kalomel jenuh ( reference electrode ).





Gambar 1.1 Rangkaian sel tiga elektroda ( *J. Chamberlain, " Korosi, Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan ", 1991 )*

Alat diatas menggunakan logam stainless steel E 304 yang luas permukaannya sudah diukur sebagai elektroda kerja, dan kalium klorida sebagai elektrolit. Aturlah potensiostat sedemikian rupa sehingga bacaannya menunjukkan pada angka  $-750$  mV. Kemudian naikan potensial sedikit demi sedikit hingga mencapai  $750$  mV, dan ukurlah arus setiap selang  $50$  mV. Diamkan satu menit sebelum pindah ke selang berikutnya supaya arus sisa dapat konstan dan stabil pada posisi nol. Amati permukaan spesimen setelah percobaan dan catat perubahan-perubahan yang terjadi. Demikian percobaan itu diulangi untuk beberapa macam kondisi logam kerja , yaitu yang di kopel dengan aluminium, dengan seng , dan yang tanpa di kopel. Masing - masing kondisi logam kerja di

teliti sampai tiga kali percobaan dengan variabel derajat keasaman yang berbeda, yaitu 5, 6, dan 7 .

*(J. Chamberlain, " Korosi, Untuk Mahasiswa dan rekayasawan ", 1991 )*



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1. DEFINISI KOROSI

Secara definisi, korosi dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Dalam konteks teknik ilmu korosi, yaitu suatu reaksi dari logam konstruksi ( material ) dengan lingkungannya, yang mengakibatkan terjadinya penurunan atau degradasi dari mutu logam.
2. Dalam konteks ilmu korosi, yaitu suatu reaksi dari logam solid dengan lingkungannya yang dapat mengakibatkan kerusakan pada logam tersebut.

Lingkungan disini yang dimaksud bisa berwujud lingkungan asam, lingkungan basa, oksigen dan zat - zat lain.

Dari definisi diatas dapat dapat diterangkan bahwa logam adalah suatu material yang mempunyai jenis ikatan yang khusus yang membuat logam mempunyai sifat-sifat tersendiri dan berbeda dengan bahan-bahan lain yang bukan logam. Ketika logam mengalami suatu reaksi korosi, atom itu diubah menjadi suatu ion melalui reaksi dengan suatu unsur yang terdapat di lingkungannya. Kalau kita menggunakan simbol M untuk atom logam yang terdapat struktur padatnya, kita dapat menggambarkan korosi melalui persamaan sebagai berikut :

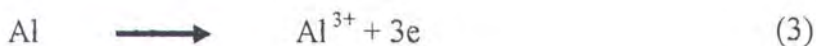
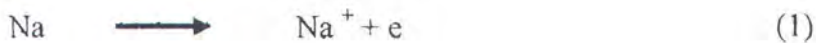


Bilangan bulat  $z$  biasanya mempunyai nilai 1, 2, atau 3. Dan persamaan diatas adalah persamaan reaksi korosi yang paling umum.

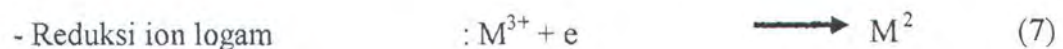
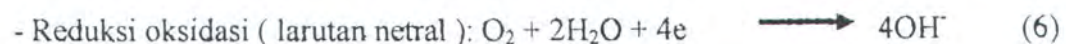
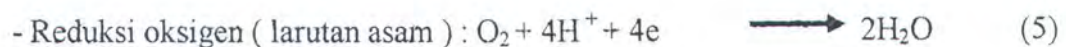
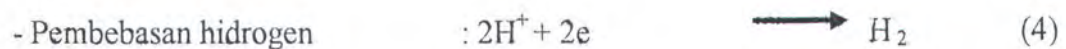
Jika ditinjau dari proses oksidasi dan reduksi, suatu proses korosi dapat digolongkan ke dalam beberapa reaksi. Salah satunya yaitu reaksi anodik.

Reaksi anodik yaitu suatu reaksi dimana terjadi reaksi oksidasi dari logam menjadi ionnya. Demikian pula dalam korosi, setiap korosi adalah oksidasi dari logam menjadi ionnya. Dan secara umum dapat dituliskan seperti contoh dibawah ini :

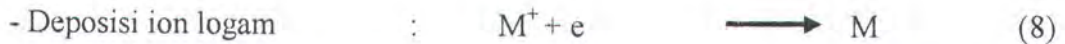
Contoh :



Dari beberapa macam reaksi yang terjadi, ada bermacam-macam reaksi anodik yang disertai reaksi katodik. Tetapi reaksi yang paling umum adalah reaksi-reaksi dibawah ini :







Dari beberapa macam reaksi diatas, reaksi pembebasan hidrogen merupakan reaksi katodik yang umum terjadi pada media asam. Sedangkan reduksi ion logam dan deposisi logam jarang terjadi pada reaksi ini.

## II.2. KOROSI GALVANIK

### 2.2.1 Pengertian Korosi Galvanik

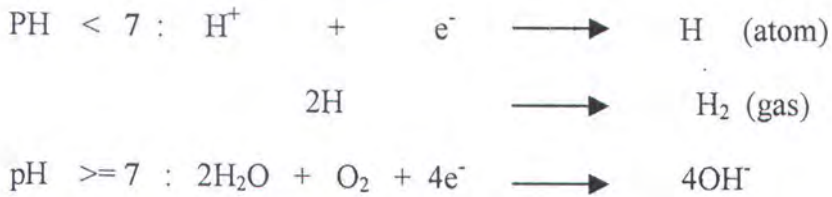
Korosi galvanik (*Bimetallic Corrosion*) atau disebut juga *dissimilar metals* adalah suatu proses korosi logam yang tidak sejenis yang tergangdeng (*coupled*) dan membentuk sebuah sel korosi basah sederhana dalam suatu media elektrolit. Dan dari proses tersebut, terjadilah korosi yang disebabkan karena perbedaan potensial dari kedua logam itu.

Biasanya kita dapat mengenali daerah-daerah pada permukaan logam yang terkorosi, dan tempat reaksi-reaksi anoda dan katoda di mana masing-masing berlangsung, dan daerah –daerah itu disebut anoda dan katoda. Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Misal dapat kita lihat dalam contoh reaksi dibawah ini.



Sedangkan katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan dalam kondisi – kondisi tertentu. Dua reaksi yang penting

dan umum yang mungkin terjadi pada katoda, tergantung dari pH larutan yang bersangkutan, seperti contoh dibawah ini :



(J. Chamberlain, "Korosi, Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan", 1991 )

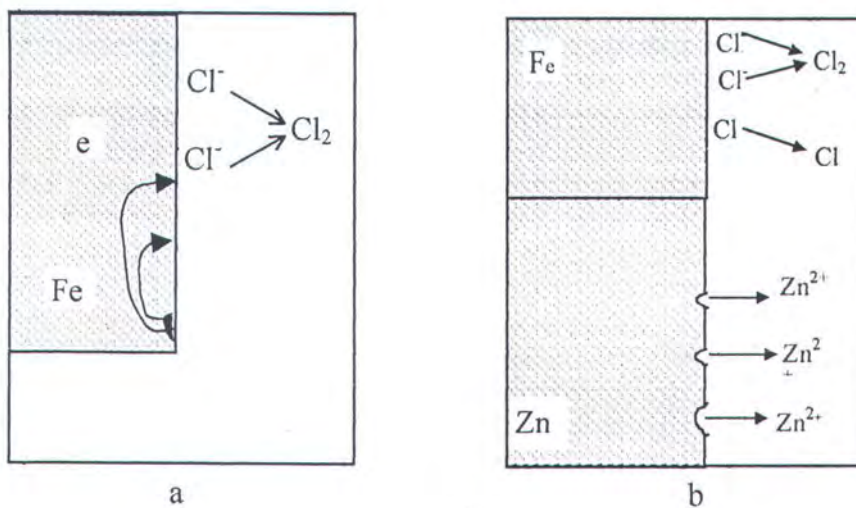
Perbedaan potensial antara dua logam yang berbeda dan berkontak (terhubung secara kontak listrik) ketika tercelup dalam elektrolit, akan menyebabkan elektron mengalir diantara kedua logam tersebut, sehingga terjadilah korosi. Bahan yang mempunyai ketahanan korosinya yang rendah akan lebih rentan terkena korosi dari pada logam yang mempunyai ketahanannya korosi yang lebih tinggi. Bahan dengan ketahanan lebih rendah disebut anoda, sedangkan logam dengan kondisi sebaliknya disebut katoda.

### 2.2.2 Mekanisme Terjadinya Korosi Galvanik

Prinsip korosi logam tidak sejenis atau sering disebut korosi galvanik merupakan dasar untuk memahami semua bentuk korosi yang lain. Untuk lebih menjelaskan tentang korosi galvanik tersebut, maka diberikan salah satu bentuk reaksi korosi yang dapat mewakili korosi galvanik, yaitu korosi logam yang dikopel dengan logam yang tanpa dikopel. Perbandingan mekanisme korosi yang terjadi pada logam di kopel dengan korosi logam yang tanpa dikopel atau bebas dapat dilihat pada Gambar.1 dibawah ini.



Dari gambar dibawah terlihat bahwa sebenarnya korosi terjadi pada logam tunggal, misalnya pada besi ( Fe ) yang mengalami korosi akibat perbedaan potensial lokal yang dimilikinya. Perbedaan potensial tersebut dapat berasal dari batasan dari butiran, impurity, fasa-fasa, dan bagian lainnya. Dengan demikian terbentuklah suatu anoda dan katoda lokal pada permukaan logam tersebut, dan selanjutnya terjadi aliran elektron dari anoda ke katoda diikuti oleh oksidasi dari anoda lokal.



Gambar 2.1. Proses korosi pada media asam

(a). Korosi logam bebas

(b). Korosi logam yang dikopel

Pada suatu keadaan tertentu besi akan terkorosi sampai habis, dan ini terjadi bila besi dicelupkan dalam kalium klorida pekat. Hal ini dimungkinkan karena tak ada bagian besi yang benar-benar sama. Apabila suatu anoda lokal habis terkorosi, maka bagian sisa katoda lokal akan menjadi anoda dan katoda

lokal baru, demikian seterusnya proses ini berulang sampai besi benar-benar habis.

Sedangkan pada gambar 2.1. (b) terlihat bahwa pada besi ( Fe ) sebagai katoda yang terkopel, dengan Seng ( Zn ) sebagai anoda, aliran elektron tidak hanya terjadi menuju katoda lokal, tetapi lebih besar lagi akan mengalir ke logam katoda. Hal ini disebabkan karena antara keduanya mempunyai perbedaan potensial yang sangat besar. Atau dapat diartikan bahwa suatu logam yang mempunyai perbedaan potensial yang besar akan mengalami reaksi seperti diatas (korosi) apabila kedua logam tersebut diletakkan dalam suatu media elektrolit yang sama dan setempat.

Akibat dari kenyataan di atas, besi dalam keadaan dikopel dengan seng (galvanik couple) akan mempunyai ketahanan terhadap korosi yang lebih baik dibandingkan dengan besi yang tidak di kopel.

### 2.2.3. EMF dan Deret Galvanik

Deret galvanik mempunyai manfaat yang sangat besar sekali pada kehidupan manusia, karena memungkinkan kita untuk memperkirakan secara cepat hambatan korosi pada suatu gandengan logam yang tidak sejenis. Dan seperti keterangan diatas, bahwa korosi galvanik timbul akibat perbedaaan potensial yang dimiliki oleh setiap bahan logam. Oleh karena itu, dibuat tentang standart potensial dari beberapa bahan. Potensial yang dipakai untuk keperluan diatas adalah hidrogen (  $H_2/H^+$  ), artinya potensial oksidasi dari gas hidrogen (  $H_2$  )

menjadi ion hidrogen ( $H^+$ ) adalah nol. Tabel 2.I dibawah ini menyatakan deret elektromotive force atau EMF.

Tabel 2.I. Elektromotive Series of Metal

(A.J. de Bethune and N.A.S. Loud, "Standard Aqueous Electrode Potential and Temperature Coefficients at 25 0 C ", Clifford A. Hampel, Stokie, III 1964. )



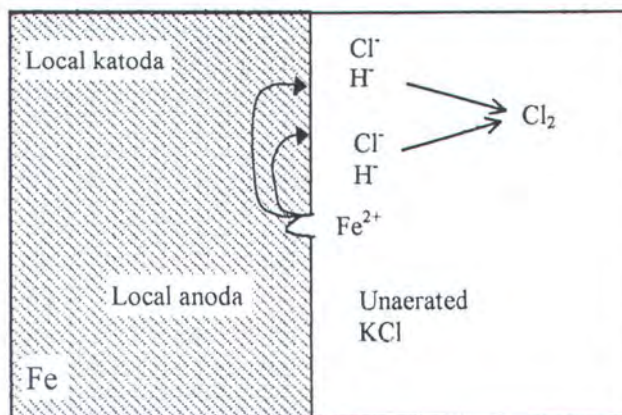
Ion logam pada kesetimbangan aktivitas)	pada (unit	Elektroda potensial vs elektroda hidrogen normal pada 25°C, volt
Au - Au <sup>3+</sup>		+ 1,498
Pt - Pt <sup>2+</sup>		+ 1,2
Pd - Pd <sup>2+</sup>		+0,987
Ag - Ag <sup>+</sup>		+ 0,799
Hg - Hg <sup>2+</sup>		+ 0,788
Cu - Cu <sup>2+</sup>		+ 0,377
H <sub>2</sub> - H <sup>+</sup>		0,000
Pb - Pb <sup>2+</sup>		- 0,126
Sn -Sn <sup>2+</sup>		- 0,136
Ni - Ni <sup>2+</sup>		- 0,250
Co - Co <sup>2+</sup>		- 0,277
Cd - Cd <sup>2+</sup>		- 0,403
Fe - Fe <sup>2+</sup>		- 0,440
Cr - Cr <sup>3+</sup>		- 0.744
Zn - Zn <sup>2+</sup>		- 0,763
Al - Al <sup>3+</sup>		- 1,662
Mg - Mg <sup>2+</sup>		- 2,363
Na - Na <sup>+</sup>		- 2,714
K - K <sup>+</sup>		- 2,925



Pada kenyataannya, umumnya korosi galvanik terjadi pada logam-logam paduan. Oleh karena itu, untuk memperkirakan kehadiran korosi galvanik yang lebih akurat, diperlukan tabel deret galvanik diatas dengan melihat harga elektroda potensial vs elektroda hidrogen pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$ .

#### 2.2.4 Mekanisme Korosi Dalam Medium Elektrolit

Proses elektrokimia dari suatu proses korosi, sebagai contoh dapat digambarkan dalam reaksi besi ( Fe ) yang dicelup dalam kalium klorida ( KCl ) seperti ditunjukkan pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2. Mekanisme elektrokimia korosi besi dalam larutan KCl tanpa aerasi

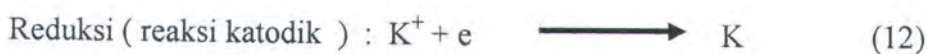
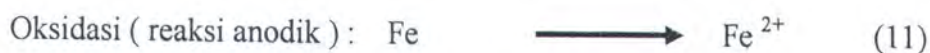
Medium elektrolit KCl yang digambarkan dalam contoh ini tidak mengandung oksigen terlarut ( *unaerated* ). Reaksi ini berlangsung cepat, gas hidrogen dilepas dan Fe terlarut membentuk  $\text{FeCl}_2$ . Reaksi yang dimaksud adalah sebagai berikut :



Dengan memperhatikan bahwa ion Cl tidak ikut dalam reaksi, maka persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi :



Dari persamaan ( 10 ) diatas, besi bereaksi dengan ion kalium dalam larutan asam membentuk ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan ion kalium menjadi endapan kalium. Selain itu reaksi diatas dapat dibagi menjadi 2 reaksi yaitu reaksi oksidasi besi dan reaksi reduksi ion kalium.



Atom - atom Fe diubah menjadi ion besi dan satu elektron ini dikonsumsi oleh reduksi ion kalium. Persamaan ( 12 ) yang telah disederhanakan di atas mengungkapkan bahwa reaksi reduksi adalah merupakan reaksi pembentukan kalium, yaitu reaksi yang membentuk ion kalium dari ion kalium yang bermuatan menjadi ion kalium yang netral. Pada tiap kasus korosi yang terjadi, hanya ion kalium yang aktif, sedang yang lain tidak terlibat dalam reaksi. Hal ini juga berlaku bagi asam - asam yang lain seperti hidrogen, phospor, dan lainnya.

### 2.2.5 Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Proses Korosi Galvanik

Pada percobaan reaksi korosi galvanik, hasil yang diperoleh kadang-kadang kurang tepat seperti yang di harapkan, karena beberapa faktor yang mempengaruhi pada proses saat terjadinya korosi tersebut. Demikian juga pada suatu pasangan kopel seperti diatas, laju korosinya juga dipengaruhi oleh faktor - faktor sebagai berikut :





1. Efek lingkungan korosif
2. Perbedaan potensial antara logam yang dikopel
3. Efek dari luasan benda yang terkorosi

Dari ketiga faktor tersebut diatas, dapat dijelaskan satu-persatu seperti dibawah ini, yaitu sebagai berikut :

#### 1. Efek Lingkungan Korosif :

Lingkungan korosif, yang sering juga disebut medium elektrolit, sangat mempengaruhi laju korosi pada suatu kasus. Pada medium tertentu, semakin naik laju korosinya dibandingkan dengan medium pengkorosi lainnya pada kepekatan (konsentrasi) yang sama. Pada umumnya, bahan mempunyai ketahanan korosi lebih rendah akan menjadi anoda saat dikopel. Tetapi kadang - kadang potensial akan menjadi terbalik untuk suatu lingkungan tertentu. Sebagai contoh pengaruh dari lingkungan ini, dapat dilihat pada tabel II.2 dibawah ini menunjukkan perubahan berat besi dan seng. Jika besi ini dikopel dengan seng, maka seng akan terkorosi dan besi akan terlindungi. Hal ini menunjukkan bahwa besi lebih mulia dibandingkan dengan seng. Tetapi untuk keadaan khusus seperti lingkungan air pada  $180^{\circ}\text{C}$ , keadaan diatas menjadi terbalik sehingga besi menjadi anoda. Hal ini disebabkan karena produk korosi terjadi sering menutupi seng sehingga hal ini menjadikan permukaan seng menjadi lebih mulia dibandingkan dengan besi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari tabel perubahan berat dari besi dan seng yang dikopel dengan yang tanpa dikopel di bawah ini.

Tabel 2.2 Perubahan berat dari Besi dan Seng yang dikopel dan tanpa dikopel  
(M.G. Montana, "Corrosion Engineering", second edition, )

Medium Korosi	Uncouple		Couple	
	Seng	Besi	Seng	Besi
MgSO <sub>4</sub> 0.05 M	0,00	- 0,04	- 0,05	+ 0,02
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.05 M	- 0,17	- 0,15	- 0,48	+ 0,01
NaCl 0.05 M	- 0,15	- 0,15	- 0,44	+ 0,01
NaCl 0.005 M	- 0,06	- 0,10	- 0,13	+ 0,02

## 2. Perbedaan Potensial Logam Yang Dikopel

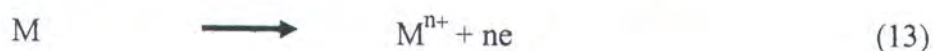
Besarnya beda potensial antara dua logam yang dikopel akan sangat mempengaruhi laju korosi galvanik yang terjadi. Semakin besar beda potensialnya, maka akan semakin besar laju korosinya dan sebaliknya.

## 3. Efek Luasan

Rasio luas permukaan antara dua logam yang dikopel (anoda - katoda) sangat mempengaruhi laju korosi galvanik yang terjadi. Perbandingan luas permukaan anoda - katoda ( $L_{\text{anoda}} / L_{\text{katoda}}$ ) semakin kecil menyebabkan laju korosi semakin besar dan sebaliknya.

### II.3. PROTEKSI KATODIK

Pada prinsipnya proteksi katodik dapat dijelaskan dengan mempertimbangkan korosi tipe logam L dilingkungan asam. Reaksi elektrokimia yang terjadi adalah dissolusi logam dan evolusi gas hidrogen.



Proteksi katodik diperoleh dengan menyalurkan elektron - elektron kedalam struktur logam yang akan dilindungi. Persamaan diatas menunjukkan bahwa penambahan elektron kedalam struktur logam akan cenderung menahan dissolusi logam dan akan menaikkan rate evolusi hidrogen. Apabila aliran elektron tersebut dari (+) ke (-), seperti dijelaskan dalam teori elektrik konvensional, maka struktur akan terlindungi apabila alirannya masuk dari elektrolit. Prinsip ini pada perkembangannya digunakan dalam teknologi proteksi katodik.

Ada dua cara untuk menyusun rangkaian proteksi katodik yaitu :

1. Dengan Galvanic Coupling
2. Dengan External Power Suplly

Pada cara galvanic coupling logam yang akan diproteksi dikopel dengan logam yang lebih anodik. Anoda ini disebut anoda tumbal yang akan terkorosi terlebih dahulu. Sedangkan pada cara external power supply, terminal negatif external power supply dihubungkan dengan logam yang diproteksi dan terminal positifnya dihubungkan dengan anoda inert.



Pemilihan anoda untuk proteksi katodik didasarkan pada pertimbangan ekonomi dan teknik. Tabel 2.3 menunjukkan beberapa anoda tumbal. Dari beberapa jenis anoda tumbal yang ada, magnesium paling baik digunakan, tetapi jarang digunakan karena logam magnesium jarang didapat di pasaran walaupun efisiensinya sekitar 50% dan harga potensialnya paling negatif, dengan memberikan arus keluaran tinggi. Tetapi karena alasan ekonomi, dengan harga magnesium yang mahal, dan jarang ada di pasaran dalam bentuk lempengan, maka logam ini jarang dipakai. Untuk logam anoda tumbal yang paling sering digunakan dalam praktek di lapangan adalah aluminium dan seng. Dari dua jenis anoda tumbal ini, yang paling sering dan paling baik digunakan adalah aluminium, karena dapat menahan laju korosi lebih baik dari pada seng dan mudah di dapat dipasaran.

Tabel 2.3 Perbandingan dari Beberapa Anoda Tumbal untuk Proteksi Katodik.

Anoda Tumbal			
	Magnesium	Seng	Aluminium
Konsumsi Teoritis Lb/ampere – tahun	9	23	6,5
Konsumsi aktual Lb/ampere – tahun	18	25	16 - 20
Potensial vs Cu / Cu SO <sub>4</sub>	- 1,7	- 1,15	- 1,3



## II.4 POLARISASI

Sejak dahulu penyebab terjadinya korosi galvanik adalah perbedaan potensial antara katoda dan anoda. Penjelasan ini sangat berguna untuk menggambarkan terjadinya korosi tetapi belum dapat memberikan gambaran tentang laju korosi yang terjadi.

Laju korosi yang terjadi memuat pembahasan dahulu, juga dinyatakan tergantung pada kerapatan arus yang timbul (current density). Semakin tinggi kerapatan arus yang timbul, maka korosi akan semakin hebat dan sebaliknya. Karena kedua kenyataan itulah, fenomena korosi dapat dijelaskan dengan pemakaian diagram tegangan fungsi arus yang selanjutnya disebut teknik polarisasi.

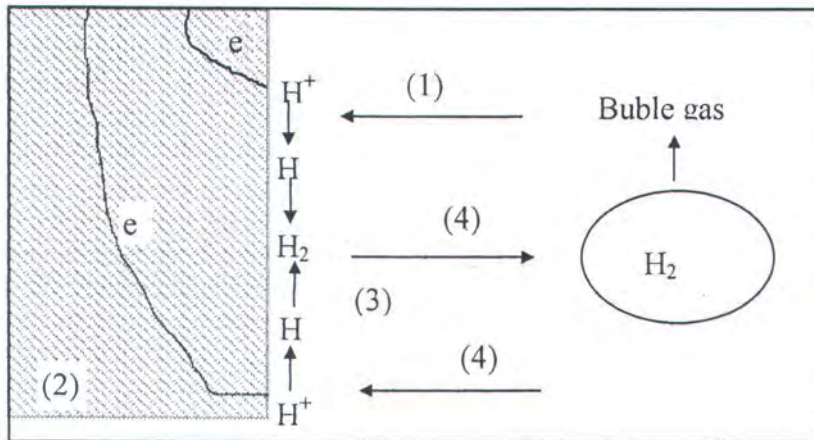
Polarisasi dapat digolongkan menjadi dua, yaitu polarisasi aktivasi dan polarisasi konsentrasi. Tetapi kedua jenis polarisasi tersebut umumnya terjadi dalam suatu reaksi korosi membentuk polarisasi union.

Polarisasi aktivasi adalah pengontrolan polarisasi oleh aktivasi reaksi pada pertemuan logam dan elektrolit pengkorosif. Dengan kata lain, jenis polarisasi ini dikontrol oleh aktivasi ion-ion dipermukaan logam yang mengalami proses korosi. Mekanisme polarisasi aktivasi bisa dijelaskan dengan acuan gambar 2.3.

Dari gambar 2.3 dibawah ini terlihat bahwa step pertama polarisasi ini hanya terjadi jika ion hidrogen ( $H^+$ ) ditempatkan pada permukaan logam, sehingga pada permukaan logam tersebut menjadi kelebihan muatan positif dan akibat dari hal tersebut adalah elektron bergerak ketempat ini untuk menetralkan muatan ( step 2 ). Akibat dari Bergeraknya elektron ke tempat itu akan



mengakibatkan ion  $H^+$  tereduksi menjadi atom hidrogen, dan selanjutnya 2 atom tersebut bergabung membentuk gas hidrogen ( step 3 dan 4 ). Untuk lebih jelasnya dapat melihat pada gambar di bawah ini ( gambar 2.3 )



Gambar 2.3. Polarisasi aktifasi

Secara matematis hubungan antara laju reaksi dari voltase untuk polarisasi aktifasi adalah sebagai berikut :

$$\epsilon_a = + \beta \log ( i / i_0 ) \quad (14)$$

dimana :

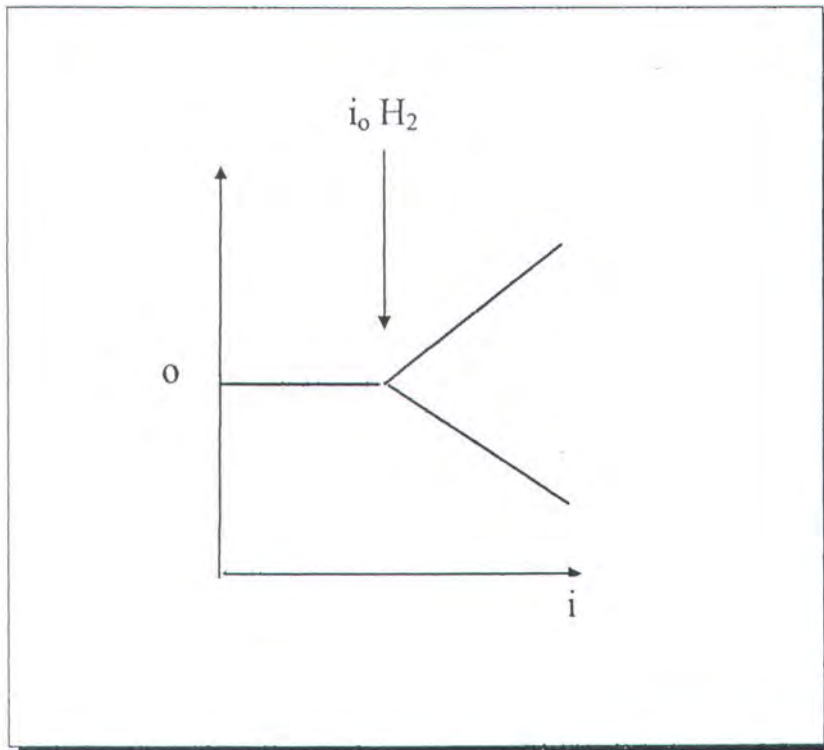
$\epsilon_a$  = Potensial lebih

$\beta$  = Konstanta

$i$  = Laju oksidasi atom reduksi yang dinyatakan sebagai kerapatan arus yang terjadi

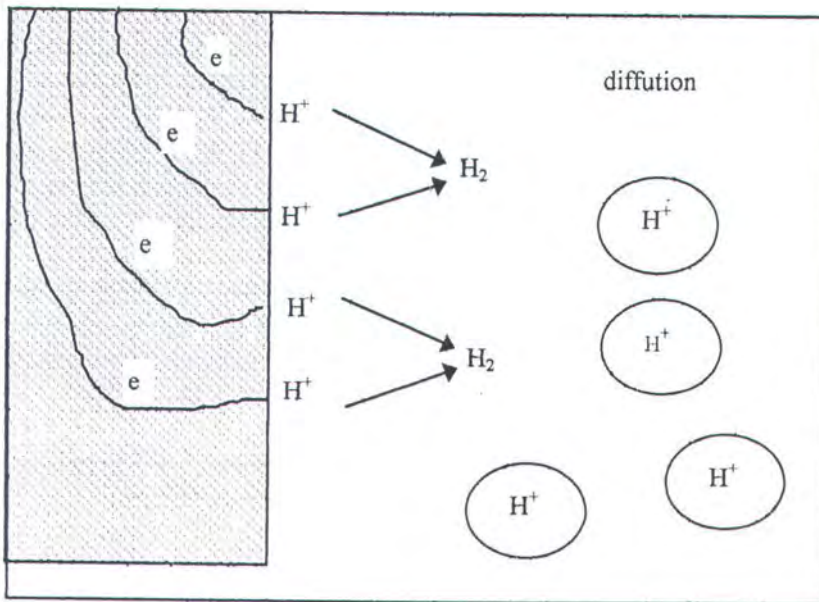
$i_0$  = Exchange current density yaitu arus dalam keadaan kesetimbangan

Gambar dari hubungan matematis diatas dapat dilihat pada gambar 2.4. dibawah ini



Gambar 2.4. Kurva polarisasi aktivasi pada elektroda hidrogen

Sedangkan polarisasi konsentrasi adalah polarisasi disebabkan oleh difusi ion akibat perbedaan konsentrasi. Hal ini dapat terjadi bila konsentrasi ion di dekat permukaan logam sangat kecil, akibatnya terjadi difusi ion - ion ke permukaan logam. Selanjutnya akibat terkonsentrasinya ion  $H^+$  di permukaan tersebut maka elektron bergerak ke daerah ini untuk mereduksi ion  $H^+$  membentuk gas hidrogen. Mekanisme polarisasi tersebut dapat dijelaskan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Polarisasi konsentrasi

Dari uraian di atas dapat dinyatakan bahwa laju reduksi yang sangat besar akan terjadi bila pada daerah dekat permukaan logam sangat sedikit kandungan ion  $H^+$ . Laju reduksi pada keadaan tersebut akan meningkat sampai batas tertentu tergantung pada difusi ion hidrogen di permukaan logam. Laju batas tersebut dinyatakan sebagai *limiting diffusion current* ( $i_L$ ).

Hubungan matematis potensial lebih dengan laju oksidasi – reduksi dapat dinyatakan dengan suatu persamaan sebagai berikut :

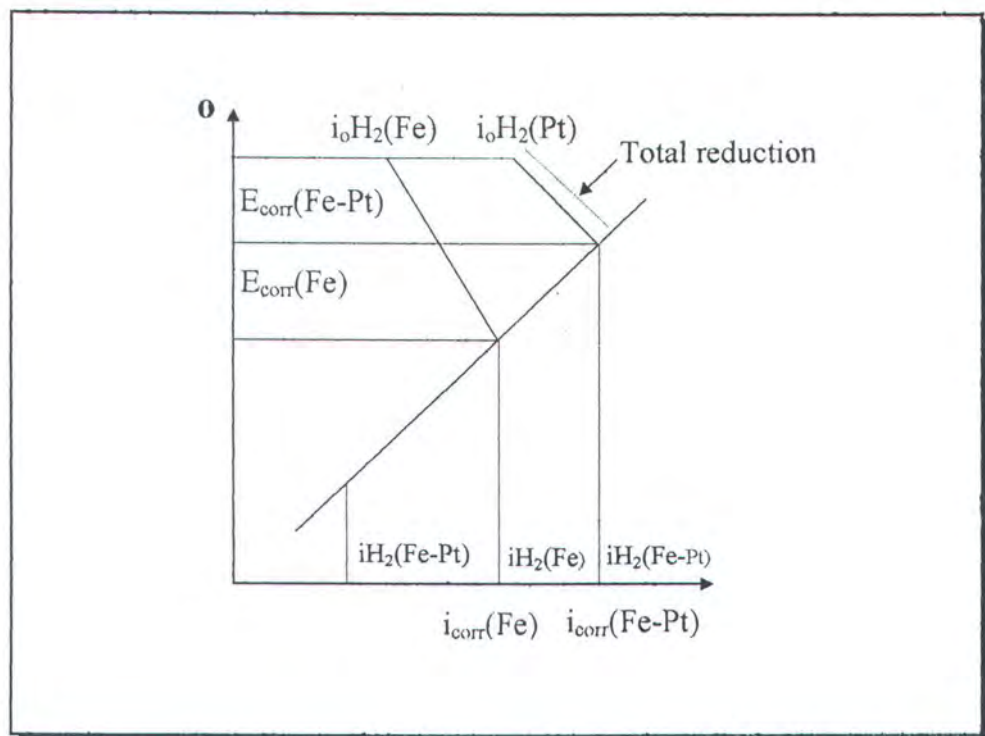
$$\epsilon c = \beta \log (1-i/i_L) \quad (15)$$

Dari keterangan di atas dapat dijelaskan bahwa akibat polarisasi potensial anoda-katoda yang disambung (dikopel), akan mengakibatkan harga potensialnya mengalami perubahan sampai suatu harga tertentu, dan akan berhenti



mengalami perubahan apabila besar potensial antara keduanya sama. Jadi dapat dikatakan bahwa polarisasi adalah perubahan potensial anoda- katoda, dimana anoda akan semakin mendekati katoda, sedangkan katoda bergerak mendekati anoda, sehingga sampai mencapai harga potensial tertentu dan diikuti dengan terjadinya pertemuan potensial anoda - katoda yang akan menghasilkan arus yang disebut *arus korosi*.

Untuk memperjelas terjadinya korosi galvanik antara dua logam, dapat dilihat gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6. Kurva perbandingan polarisasi antara besi yang dikopel dengan platina dan besi bebas



Dari gambar diatas terlihat bahwa korosi yang terjadi pada besi bebas dinyatakan oleh potongan kurva polarisasi hidrogen evolution dengan reaksi oksidasi besi, yang dinyatakan dengan  $i_{corr}$ . Jika luas permukaan platinum dan besi yang dikopel adalah sama, maka total hidrogen evolution adalah sama dengan jumlah kedua reaksi ini pada kedua permukaan logam Pt dan Fe. Karena exchange current density ion hidrogen ( $H^+ : H$ ) sangat besar pada Pt dan sangat kecil pada besi, maka total hidrogen evolution dapat dianggap sama dengan laju hidrogen evolution pada permukaan Pt. Pada pemotongan jenis polarisasi hidrogen evolution pada Pt dan Fe,  $i_{corr} (Fe - Pt)$  terlihat pula bahwa arus tersebut lebih besar daripada  $i_{corr}(Fe)$ . Karena laju korosi merupakan fungsi rapat arus ( current density ), maka dapat dikatakan bahwa laju korosi besi yang dikopel dengan Pt akan lebih besar daripada Fe bebas. Selain itu terjadi perubahan reversibel potensial dari  $E_{corr}$  menjadi  $E_{couple}$ . Hidrogen evolution yang terjadi pada permukaan besi akan menurun yang dinyatakan sebagai  $iH_2(Fe - Pt)$ , sedangkan pada Pt akan meningkat  $iH_2(Fe - Pt)$ .

## II.5 LAJU KOROSI

Perhitungan laju korosi diperoleh dengan menggunakan metode elektrokimia teknik polarisasi. Laju korosi ini diperoleh dengan cara mengukur jumlah elektron yang melewati permukaan logam, yang dapat juga diasumsikan dengan besarnya arus yang melewati logam tersebut. Misal suatu logam dengan valensi  $z$ , densitas  $\rho$  (  $kg/m^3$  ), dan besarnya yang terkorosi secara merata di

seluruh permukaan dengan kerapatan arus  $i_{\text{corr}}$  ( A/m<sup>2</sup> ), maka perhitungan laju korosinya sebagai berikut :

Untuk logam yang terkikis seluas 1 m<sup>2</sup>, banyaknya coulomb yang akan lewat dalam setahun adalah :

$$i_{\text{corr}} \times 60 \times 60 \times 24 \times 365 = 3,154 \times 10^7 \times i_{\text{corr}}.$$

satu mol logam dengan valensi  $z$  yang berubah menjadi ion menghasilkan :

$$z \times 96,494 \text{ coulombs.}$$

Jadi banyaknya mol per m<sup>2</sup> yang hilang dalam setahun adalah :

$$\begin{aligned} &= ( 3,154 \times 10^7 \times i_{\text{corr}} ) / ( z \times 96,494 ) \\ &= ( 326,8 \times i_{\text{corr}} ) / z \end{aligned}$$

Kalau banyaknya mol diubah menjadi kg, maka banyaknya material yang hilang dalam kg per m<sup>2</sup> untuk setiap tahunnya adalah :

$$= ( 326,8 \times M \times i_{\text{corr}} ) / ( 1000 \times z )$$

Karena logam mempunyai kerapatan sebesar  $\rho$ kg/m<sup>3</sup>, jika massa yang hilang □kg/m<sup>2</sup>, maka kedalaman penetrasi adalah 1m ( 1000 mm ). Dengan demikian penetrasi sesungguhnya ( dalam mm ) adalah :

$$\begin{aligned} &= ( 326,8 \times M \times i_{\text{corr}} \times 1000 ) / ( 1000 \times z \times \rho ) \\ &= ( 326,8 \times M \times i_{\text{corr}} ) / ( z \times \rho ) \end{aligned} \tag{16}$$

Keterangan:

$V$  : Laju Korosi ( milimeter per year (mmpy))

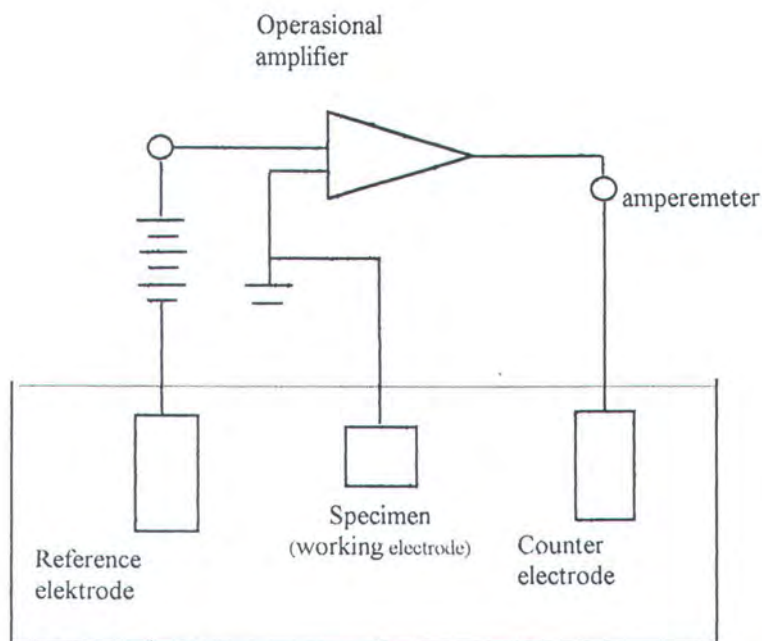
- M : Berat molekul logam terkorosi ( kg/kg mol )
- Z : Elektrovalensi logam terkorosi (-)
- $\rho$  : Densitas logam yang terkorosi ( kg/m<sup>3</sup> )

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### III.1. PERALATAN PENELITIAN

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini sesuai dengan peralatan yang ada di *Annual book of ASTM, 1994* dan disebut *potensiostat*, yaitu suatu alat yang menggunakan elektrode pembantu ( *reference elektrode* ), elektrode acuan ( *counter electrode* ), dan elektrode kerja ( *working electrode* ), dan rangkaiannya dapat dilihat pada gambar 3.1. Alat tersebut mempunyai kemampuan untuk mengatur beda potensial serta membandingkan potensial yang diukur dan potensial yang diatur.



Gambar 3.1. Potensiostat sederhana





Keterangan gambar :

- Elektrode pembantu (reference elektrode) :

Sebutan ini diberikan kepada elektrode kedua yang dimaksudkan khusus untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian. Untuk bahan elektroda ini biasa batang karbon atau bahan lain asal tidak menimbulkan kontaminasi ion – ion ke dalam elektrolit.

- Elektrode kerja ( working elektrode ) :

Ini sebutan yang diberikan untuk elektroda yang sedang diteliti. Hasil pengukuran arus nantinya dapat digunakan dalam perhitungan – perhitungan. Elektroda kerja dapat disiapkan dalam berbagai cara. Salah satu diantaranya adalah cukup dengan memasang sebuah spesimen kecil elektrolit sebagai logam yang akan diteliti, dengan luas permukaan yang telah ditentukan,

- Elektrode acuan (counter electrode) :

Elektroda ini dimaksudkan sebagai titik dasar yang sangat mantap untuk mengacaukan pengukuran – pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus sekecil – kecilnya, sehingga dapat diabaikan. Bila tidak demikian, maka elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel dan potensialnya tidak lagi konstan. Oleh karena itu elektroda kerja ini dibutuhkan. Sejauh ini elektroda acuan yang paling praktis adalah elektroda kalomel jenuh. Rangkaian luar juga bermacam – macam. Komponen - komponen yang diperlukan adalah sebagai berikut :

- ⇒ Sebuah alat pengukur arus yang dapat dibaca hingga miliampere atau mikroampere.
- ⇒ Sebuah alat pengukur potensial. Selama pengukuran, alat ini tidak boleh teraliri arus listrik, sehingga peralatan model yang memenuhi persyaratan adalah potensiometer.
- ⇒ Sebuah sumber potensial yang akan bertindak sebagai penggerak elektroda kerja, sedemikian sehingga reaksi sel yang dikehendaki dapat berlangsung.

( J.Chamberlain, "*Korosi, untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*", 1991 )

Selain peralatan di atas, untuk memperlancar penelitian ini juga digunakan peralatan tambahan yang dapat mendukung peralatan sebelumnya, yaitu :

- Kertas gosok SIC grade 180, 200, dan 400
- Beaker glass
- pH meter

### III.2. BAHAN PENELITIAN

Penelitian uji korosi ini menggunakan bahan sesuai dengan gambar 3.1. Selain itu juga digunakan material untuk pengujian atau material uji, anode, dan medium pengkorosif yaitu klorida atau pupuk KCl. Untuk lebih jelasnya mengenai beberapa bahan penelitian tersebut, akan dijelaskan lebih lanjut di bawah ini. Material tersebut adalah sebagai berikut :

1. Material Uji :

Material uji untuk mengetahui laju korosi sesuai dengan tujuan diatas adalah Stainless Steel Austenitic type E 304. Stainless Steel merupakan alloy tahan karat, karena mempunyai kemampuan untuk membentuk selaput permukaan pasif sehingga ada ketahanan terhadap korosi, dan baja tahan karat tersebut baru terkorosi jika selaput permukaan mengalami kerusakan. Adapun komposisi kimia dari material stainless steel dapat dilihat pada tabel 3.1. Sedangkan dimensi untuk material Stainless steel austenitic type E 304 yang digunakan sebagai bahan percobaan dibuat berdimensi sama, yaitu 25x50x5 ( mm ) yang semuanya tanpa berpenegar.

Tabel 3.1. Komposisi Kimia Stainless Steel Austenitic 304

( Donald, “ Pockner “, 1977 )

Kandungan	C	Cr	Ni	Mg	Si
%	0,08	18-20	8-20	maks. 2,0	maks. 1,0

2. Material untuk sacrificial anode :

Sesuai dengan kaidah sel korosi dan bahasan pada bab II.2. bahwa korosi galvanis dapat terjadi disebabkan oleh karena adanya kopel dwi logam antara logam potensial rendah dengan potensial tinggi. Untuk penelitian ini digunakan material sebagai anode yaitu seng ( Zn ) dan aluminium ( Al )



sebab potensialnya dibawah potensial Fe atau besi (  $-0,440$  ) sedangkan Zn (  $-0,763$  ) dan Al (  $-1,662$  ).

### 3. Medium pengkorosif :

Medium pengkorosif digunakan sesuai kondisi muatan sebenarnya yaitu muatan kalium klorida atau pupuk KCl. Sedangkan pH dari kalium klorida yang digunakan berbeda-beda, dan hal ini sesuai kemungkinan muatan kalium klorida. Kalium klorida secara umum dapat dikatakan bahwa konsentrasi larutan tersebut adalah berkisar antara 7, karena merupakan garam kuat yang berasal dari asam kuat dan basa kuat. Maka dari hal itu, derajat keasaman dari kalium klorida yang diangkut secara pasti tidak dapat ditentukan, tetapi kita mengambil derajat keasaman yang sesuai dengan order dari customer, dan pH untuk mengantisipasi kemungkinan hal tersebut dipasang 5, 6, dan yang paling besar adalah 7.

## III.3. PROSEDUR PENGUJIAN

Prosedur percobaan untuk pengujian laju korosi dapat dibagi dalam beberapa tahapan. Masing-masing dari tahap mempunyai prosedur pengujian yang berbeda-beda, tergantung dari proses yang terjadi. Tahapan – tahapan itu dimaksudkan untuk mempermudah memperoleh data guna menghitung laju korosi. Untuk lebih jelasnya mengenai tahapan yang ada, akan dijelaskan lebih rinci di bawah ini. Tahapan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Persiapan material uji ( specimen ) :

Mempersiapkan material uji merupakan langkah dan tahapan awal dari percobaan. Adapun langkah-langkah selama tahap persiapan specimen dapat dibagi dalam beberapa bagian, yaitu sebagai berikut :

- a) Membuat specimen untuk bahan pengujian sebagai elektroda kerja.  
Untuk material uji digunakan stainless steel austenitic type E 304 sebanyak 27 buah dengan 3 macam variasi bentuk pemodelan, yaitu ancouple, dikopel dengan aluminium, dan dikopel dengan seng.
- b) Material di haluskan hingga halus dengan menggunakan amplas, dan kemudian dicuci dengan air hingga bersih. Setelah dicuci, material tersebut dikeringkan hingga kering betul, karena akan disambung dengan material lain, yaitu dengan aluminium dan seng.
- c) Menyambung masing-masing specimen dengan anoda seng dan anoda aluminium, dan untuk jumlah dari anoda seng 9 buah serta untuk anoda aluminium 9 buah, dengan dimensi untuk anoda seng 10x20x5 (mm) dan dimensi untuk anoda aluminium 20x50x4 (mm). Proses penyambungan antara specimen uji dengan logam anoda , baik anoda seng atau anoda aluminium dilakukan dengan cara menjepit logam specimen uji dan logam anoda dengan menggunakan penjepit kecil yang dihubungkan dengan kabel, sehingga keduanya saling berhubungan.
- d) Specimen siap untuk percobaan.

## 2. Tahap persiapan larutan

Tahap kedua dari percobaan ini adalah mempersiapkan larutan, dimana larutan sebagai media pengkorosif disiapkan baik derajat keasamannya maupun volumenya supaya memenuhi kondisi yang diinginkan, sehingga logam dapat terkorosi dengan kondisi larutan itu. Langkah - langkah dalam tahap ini adalah sebagai berikut :

- a) Membuat larutan KCl 500 ml
- b) Membuat larutan KCl dengan pH 5, 6, dan 7 masing-masing 9 buah,
- c) Menuangkan larutan KCl 500 ml ke dalam beaker glass sejumlah 27 buah,
- d) Setelah itu, larutan siap menjadi media pengkorosif dengan dijadikan sebagai media bagi spesimen yang disiapkan.

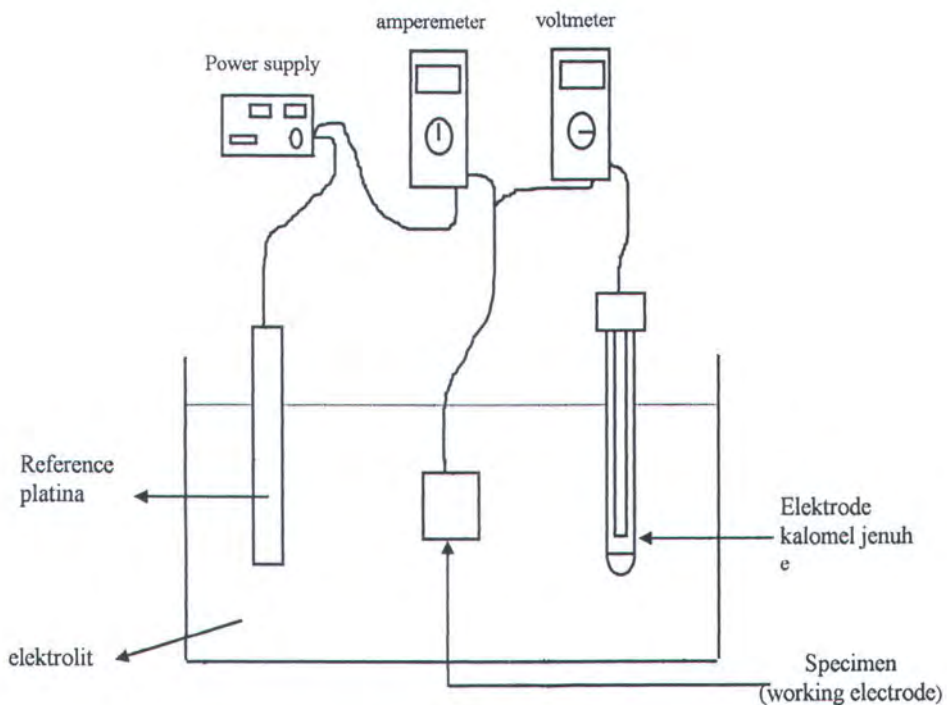
## 3. Tahap Persiapan Peralatan

Merupakan tahap ketiga, saat peralatan untuk pengujian harus disiapkan sesuai standarnya (Annual Book of ASTM Standarts Part 10, volume 03.02, 1994), dengan langkah - langkah sebagai berikut :

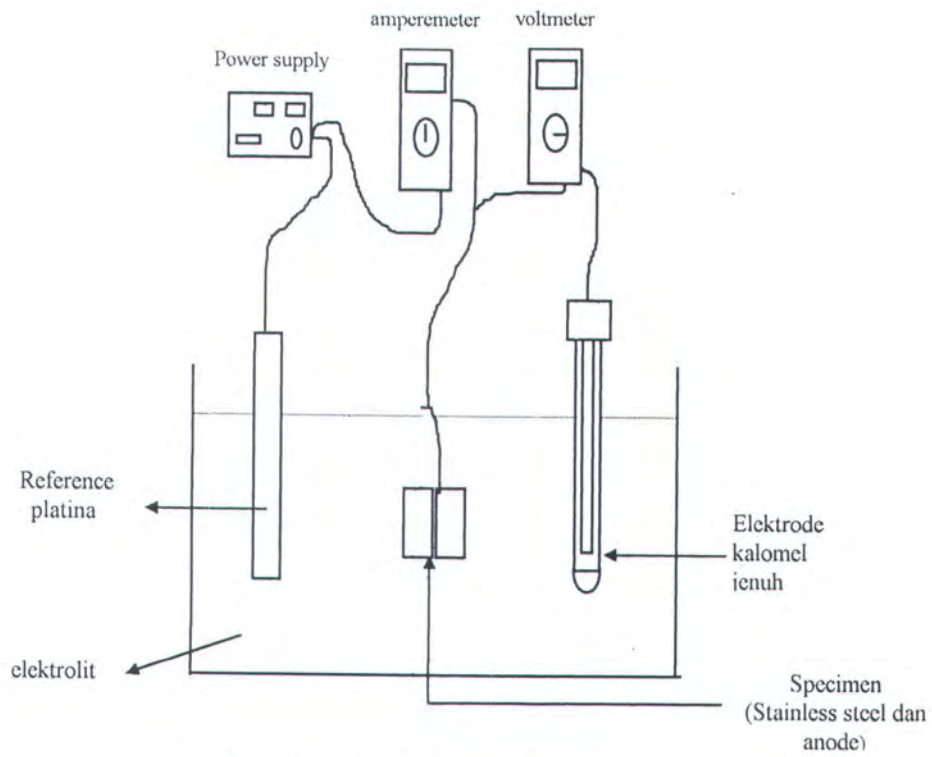
- a) Membuat rangkaian alat untuk pelat baja Stainless steel austenitic type E 304 dengan anode seng dan aluminium seperti pada gambar 3.3.
- b) Membuat rangkaian alat untuk stainless steel austenitic type E 304 uncouple seperti pada gambar 3.2. untuk yang uncouple dan sesuai dengan gambar 3.3. untuk yang kondisi di couple, baik dengan aluminium maupun dengan seng.



- c) Rangkaian alat seluruhnya berjumlah 27 buah terdiri dari 9 buah uncouple, 9 buah couple dengan seng anode, dan 9 buah couple dengan aluminium anode.
- d) Lama percobaan untuk masing - masing rangkaian alat disesuaikan dengan kemampuan arus untuk mencapai maksimal dan ditunggu sampai arus mencapai harga optimal.
- e) Peralatan yang sudah jadi seperti pada gambar dibawah ini siap untuk digunakan sebagai percobaan.



Gambar 3.2. Rangkaian alat uncouple



Gambar 3.3. Rangkaian alat couple

## BAB IV

### ANALISA DATA HASIL PERCOBAAN

#### IV.1. ANALISA DERAJAT KEASAMAN

Derajat keasaman atau pH adalah banyaknya ion  $H^+$  atau  $OH^-$  yang dikandung oleh suatu senyawa yang menunjukkan sifat asam atau basa dari senyawa tersebut. Semakin kecil harga pH dari suatu larutan, maka larutan tersebut akan semakin bersifat asam, dan demikian juga sebaliknya.

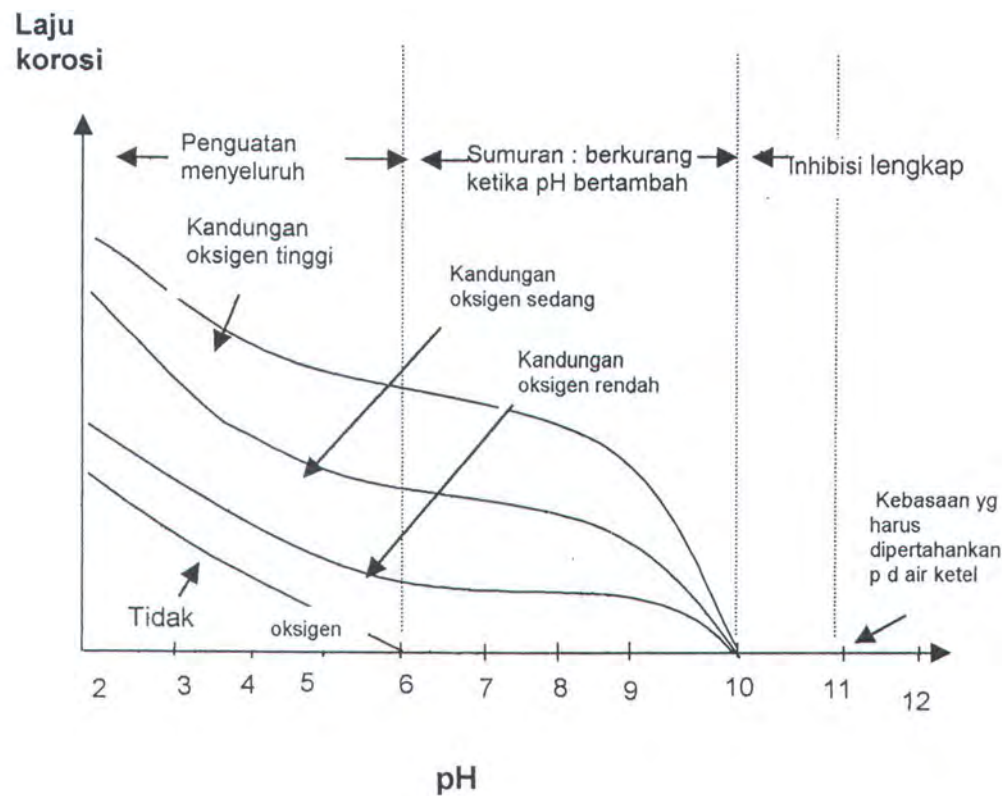
(M.G. Montana, "Corrosion Engineering", 1991).

Dalam berbagai reaksi, derajat keasaman, temperatur, dan kandungan oksigen yang terlarut akan berpengaruh terhadap laju korosi dari suatu logam. Di bawah ini adalah grafik yang menunjukkan bahwa derajat keasaman (pH) dan kandungan oksigen berpengaruh terhadap laju korosi pada baja pada suhu  $25^{\circ}C$ .

Sifat-sifat sebuah elektrolit, yang dapat diubah-ubah dapat membatasi keganasan terhadap permukaan logam. Ion-ion yang terlarut akan mempengaruhi laju korosi, salah satunya dengan cara mengubah derajat keasaman atau pH.

Secara teori, semakin naik derajat keasaman suatu larutan, maka larutan itu akan semakin bersifat korosif terhadap suatu jenis logam. Dari tabel dibawah ini dapat dibaca bahwa semakin besar pH, maka akan semakin besar pula laju korosi yang terjadi.





Gambar 4.1 Grafik hubungan laju korosi, pH, dan kandungan oksigen dalam air panas pada suhu 25<sup>0</sup> C dan tekanan 1 atm .

( J. Chamberlain & K.R. Trethewey, “ Korosi untuk Mahasiswa “, 1991 ).

IV.2. ANALISA ANODA TUMBAL

Anoda tumbal ( *sacrificial anode methode* ) merupakan salah satu dari jenis proteksi katodik yang dilakukan manusia dengan cara menghubungkannya pada struktur yang dilindungi, dengan tujuan mengefektifkan perlindungan terhadap korosi. Selain anoda tumbal, dikenal pula metode yang lain, yaitu metode arus terpasang ( *impressed current methode* ). ( J. Chamberlain and K.R.Trethewey, “ Korosi Untuk Mahasiswa “, 1991 ). Tetapi dalam bab ini akan

dibahas khusus mengenai proteksi anoda tumbal, karena berhubungan dengan permasalahan yang sedang di kerjakan dalam tulisan ini

Untuk menjelaskan cara kerja proteksi katodik yang paling mudah adalah dengan menggunakan konsep tentang sel korosi basah. Jika kita dihadapkan pada permasalahan pencegahan korosi terhadap sebuah struktur logam dengan menggunakan konsep ini, tampaknya pemecahan masalah tersebut sederhana sekali. Yaitu, jika kita mengatur agar struktur tersebut bertindak sebagai anoda dalam sebuah sel korosi, yang dalam hal ini tidak terkorosi, karena yang terkorosi adalah katoda, struktur itu tidak akan mengalami korosi. Tetapi meskipun demikian, kadang – kadang katoda bisa saja rusak bila kerapatan arus terlalu besar. Biasanya kerapatan arus yang terlalu besar akan mengakibatkan kerusakan pada bagian lapisan cat, tetapi perapuhan logam oleh hidrogen juga menjadi mungkin bila potensial cukup negatif.

Untuk membuat proteksi dengan bahan yang baik bagi proteksi tersebut, kita dapat melihat deret galvanik yang ada, yang bisa di gandengkan dengan logam yang ingin kita lindungi yang selanjutnya akan menjadi anoda. Karena bahan yang sering membutuhkan perlindungan adalah besi dan baja, maka dengan segera kita dapat melihat dari deret galvanik bahwa semua logam yang potensialnya lebih aktif dibandingkan besi, menurut teori, dapat digunakan sebagai pelindung. Dalam praktek, upaya untuk melindungi besi dengan menggandengkan dengan natrium adalah sesuatu yang mustahil, karena natrium ketika bertemu air akan menimbulkan ledakan. Disini natrium memang akan melindungi besi, tetapi hanya akan sebentar sekali dan tidak ada gunanya. Oleh



karena itu orang perlu mencari logam anodik lain yang terkorosi lebih lambat dari natrium dan besi sendiri. Logam seperti seng, magnesium, dan aluminium cocok untuk tugas tersebut, karena logam – logam tersebut lebih aktif dari besi, makanya banyak dipakai sebagai pelindung untuk besi dan baja. Makanya seorang rekayasa ketika membuat konstruksi dari baja, dia akan menyisipkan potongan-potongan seng atau aluminium pada bagian yang tidak mempengaruhi kekuatan struktur tersebut. Seng atau aluminium itu akan terkorosi terlebih dahulu dari pada besinya.

Kedua anoda dari jenis aluminium dan seng itu yang paling banyak digunakan, karena kedua logam tersebut yang paling banyak di pasaran dan relatif paling murah dibandingkan dengan yang lainnya.

Kemampuan dari kedua anoda itu juga berbeda dalam kapasitasnya sebagai anoda untuk logam besi. Untuk memperbandingkannya, kita dengan mudah dapat melihat mana yang lebih besar harga potensialnya antara keduanya dari deret galvanik. Logam yang mempunyai harga potensial yang lebih tinggi secara teori akan mempunyai kemampuan sebagai anoda proteksi lebih baik. Dan berdasarkan teori tersebut, kita dapat membandingkannya dengan harga dan kemampuan dari kedua logam tersebut sebagai proteksi bagi logam yang di lindungi terhadap korosi dari hasil percobaan yang telah penulis lakukan.

Dari hasil percobaan yang telah penulis lakukan terlihat bahwa anoda aluminium mempunyai kemampuan sebagai protektor atau pelindung yang lebih baik dari pada anoda seng. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada perhitungan dan data hasil percobaan dalam pembahasan di bawah ini dan di halaman lampiran.



### IV.3. LAJU KOROSI

Setelah dilakukan percobaan untuk menghitung arus yang melewati antara elektroda kerja dengan elektroda acuan, yang merupakan harga yang sebanding dengan jumlah elektron yang mengalir diantara kedua elektroda tersebut, maka dapat diperoleh suatu harga laju korosi dari suatu logam kerja dalam berbagai kondisi. Variabel yang digunakan dalam percobaan ini adalah derajat keasaman dan kondisi logam kerja dengan keadaan dikopel dan tanpa dikopel.

Dalam perhitungan dengan cara elektrokimia dengan metode polarisasi ini, telah dijelaskan dimuka bahwa perhitungannya dilakukan dengan penentuan laju korosi yang diperoleh dengan mengukur jumlah elektron yang melewati logam tersebut.

Misal suatu logam dengan valensi  $z$ , densitas  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ), yang terkorosi secara merata diseluruh permukaan dengan kerapatan arus  $i_{\text{cor}}$  ( $\text{A/m}^2$ ), maka perhitungan laju korosinya sebagai berikut :

Untuk logam seluas  $1 \text{ m}^2$ , banyaknya coulomb yang akan lewat dalam setahun adalah :

$$I_{\text{cor}} \times 60 \times 24 \times 365 = 3.154 \times 10^7 \times i_{\text{cor}} .$$

Satu mol logam dengan valensi  $z$  yang berubah menjadi ion menghasilkan :

$$Z \times 96,494 \text{ coulomb}$$

Jadi banyaknya mol per  $\text{m}^2$  yang hilang dalam setahun adalah :

$$(3.154 \times 10^7 \times i_{\text{cor}}) / (z \times 96,494)$$

$$(326,8 \times i_{\text{cor}}) / z$$

Kalau banyaknya mol diubah menjadi kg, maka banyaknya kg yang hilang per m<sup>2</sup> setiap tahunnya adalah :

$$(326,8 \times M \times i_{\text{cor}}) / (1000 \times z)$$

Karena logam mempunyai kerapatan sebesar  $\rho$  ( kg/m<sup>3</sup> ), maka jika massa yang hilang  $\rho$  ( kg/m<sup>3</sup> ), maka kedalaman penetrasi adalah 1 m ( 1000 mm ). Dengan demikian penetrasi atau laju korosi yang sesungguhnya adalah :

$$V = (326,8 \times M \times i_{\text{cor}} \times 1000) / (1000 \times z \times \rho)$$

$$V = (326,8 \times M \times i_{\text{cor}}) / (z \times \rho)$$

Keterangan :

V : Laju korosi ( mmpy )

M : berat molekul logam terkorosi ( kg/kgmol )

Z : elektrovalensi logam terkorosi

$\rho$  : densitas logam terkorosi ( kg/m<sup>3</sup> ).

Untuk lebih jelasnya akan diberikan contoh perhitungan berapa besar penetrasi dan pengurangan berat dalam kurun waktu satu tahun untuk logam SS E 304 dengan kondisi tidak dikopel dalam media kalium klorida ( KCl ) dengan derajat keasaman atau pH 7 sebagai berikut :

Untuk logam seluas 1 m<sup>2</sup>, banyaknya coulomb yang akan lewat dalam setahun adalah :

Diketahui data dari logam tersebut :

$$I_{\text{cor}} = 0,2283, M = 56, Z = 2$$

maka di dapatkan :

$$= I_{\text{cor}} \times 60 \times 24 \times 365 = 3.154 \times 10^7 \times i_{\text{cor}} .$$

$$= 0,2833 \times 60 \times 24 \times 365$$

$$= 148.902,43 \text{ coulomb}$$

Satu mol logam dengan valensi  $z$  yang berubah menjadi ion menghasilkan :

$$= Z \times 96,494 \text{ coulomb}$$

$$= 2 \times 96,494$$

$$= 192,988 \text{ coulomb}$$

Jadi banyaknya mol per  $\text{m}^2$  yang hilang dalam setahun adalah :

$$= ( 3.154 \times 10^7 \times i_{\text{cor}} ) / ( z \times 96,494 )$$

$$= ( 326,8 \times i_{\text{cor}} ) / z$$

$$= ( 326,8 \times 0.2833 ) / 1$$

$$= 92,5824 \text{ mol/m}^2$$

Kalau banyaknya mol diubah menjadi kg, maka banyaknya kg yang hilang per  $\text{m}^2$  setiap tahunnya adalah :

$$= ( 326,8 \times M \times i_{\text{cor}} ) / ( 1000 \times z )$$

$$= ( 326,8 \times 56 \times 0.2833 ) / ( 1000 \times 2 )$$

$$= 2.5923 \text{ kg/m}^2.$$

Karena logam mempunyai kerapatan sebesar  $\rho$  (  $\text{kg/m}^3$  ), maka jika massa yang hilang  $\rho$  (  $\text{kg/m}^3$  ), maka kedalaman penetrasi adalah 1 m ( 1000 mm ). Dengan demikian penetrasi atau laju korosi yang sesungguhnya adalah :

$$V = ( 326,8 \times M \times i_{\text{cor}} \times 1000 ) / ( 1000 \times z \times \rho )$$

$$V = ( 326,8 \times M \times i_{\text{cor}} ) / ( z \times \rho )$$



$$V = ( 326,8 \times 56 \times 0.2283 ) / ( 2 \times 7800,20 )$$

$$V = 0,2678 \text{ ( milimeter per year atau mmpy )}$$

Demikian juga untuk kondisi-kondisi dikopel dengan aluminium atau seng dan juga untuk derajat keasaman yang berbeda-beda pula, yaitu 5 dan 6, perhitungannya sama dengan perhitungan diatas. Dan untuk melengkapi laporan ini, penulis lampirkan pula data laju korosi untuk logam stainless steel E 304 pada media kalium klorida ( KCl ) dengan derajat keasaman yang berbeda dan harga  $i_{\text{corr}}$  dari logam yang sama dengan kondisi yang berbeda-beda pula berdasarkan data hasil percobaan di laboratorium.

Dari hasil percobaan yang dilakukan, laju korosi yang terjadi pada logam stainless steel E 304 dengan kondisi yang dikopel maupun yang tidak dikopel, dalam media kalium klorida dengan derajat keasaman 5, 6, dan 7 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Harga  $i_{\text{corr}}$  logam Stainless Steel E 304 dalam kondisi tanpa dikopel

NO	Derajat Keasaman ( pH )	Perlakuan	$i_{\text{corr}}$	$i_{\text{corr}}$ rata-rata
1 2 3	5	uncouple uncouple uncouple	0,280 0,285 0,280	0,2817
1 2 3	6	uncouple uncouple uncouple	0,260 0,260 0,260	0,2600
1 2 3	7	uncouple uncouple uncouple	0,235 0,220 0,230	0,2283

Tabel 4.2. Harga  $i_{\text{corr}}$  logam Stainless Steel E 304 dengan kondisi dikopel seng ( Zn )

NO	Derajat Keasaman ( pH )	Perlakuan	$i_{\text{corr}}$	$i_{\text{corr}}$ rata-rata
1	5	Couple Zn	0,250	0,2483
2		Couple Zn	0,250	
3		Couple Zn	0,245	
1	6	Couple Zn	0,210	0,2217
2		Couple Zn	0,230	
3		Couple Zn	0,225	
1	7	Couple Zn	0,180	0,1800
2		Couple Zn	0,180	
3		Couple Zn	0,180	

Tabel 4.3. Harga  $i_{\text{corr}}$  Stainless Steel E 304 kerja dikopel dengan Aluminium ( Al )

NO	Derajat Keasaman ( pH )	Perlakuan	$i_{\text{corr}}$	$i_{\text{corr}}$ rata-rata
1	5	Couple Al	0,220	0,2133
2		Couple Al	0,200	
3		Couple Al	0,220	
1	6	Couple Al	0,180	0,1900
2		Couple Al	0,195	
3		Couple Al	0,195	
1	7	Couple Al	0,160	0,1733
2		Couple Al	0,180	
3		Couple Al	0,180	

Tabel 4.4. Harga besarnya laju korosi untuk logam Stainless Steel E 304 pada beberapa macam kondisi kerja

NO	Kondisi	( pH )	$i_{corr}$ ( A/m <sup>2</sup> )	laju korosi (mmpy)
1	Uncouple	5	0,2817	0,3305
2		6	0,2600	0,3050
3		7	0,2283	0,2678
1	Couple Zn	5	0,2483	0,2913
2		6	0,2217	0,2601
3		7	0,1800	0,2112
1	Couple Al	5	0,2133	0,2502
2		6	0,1900	0,2229
3		7	0,1733	0,2033

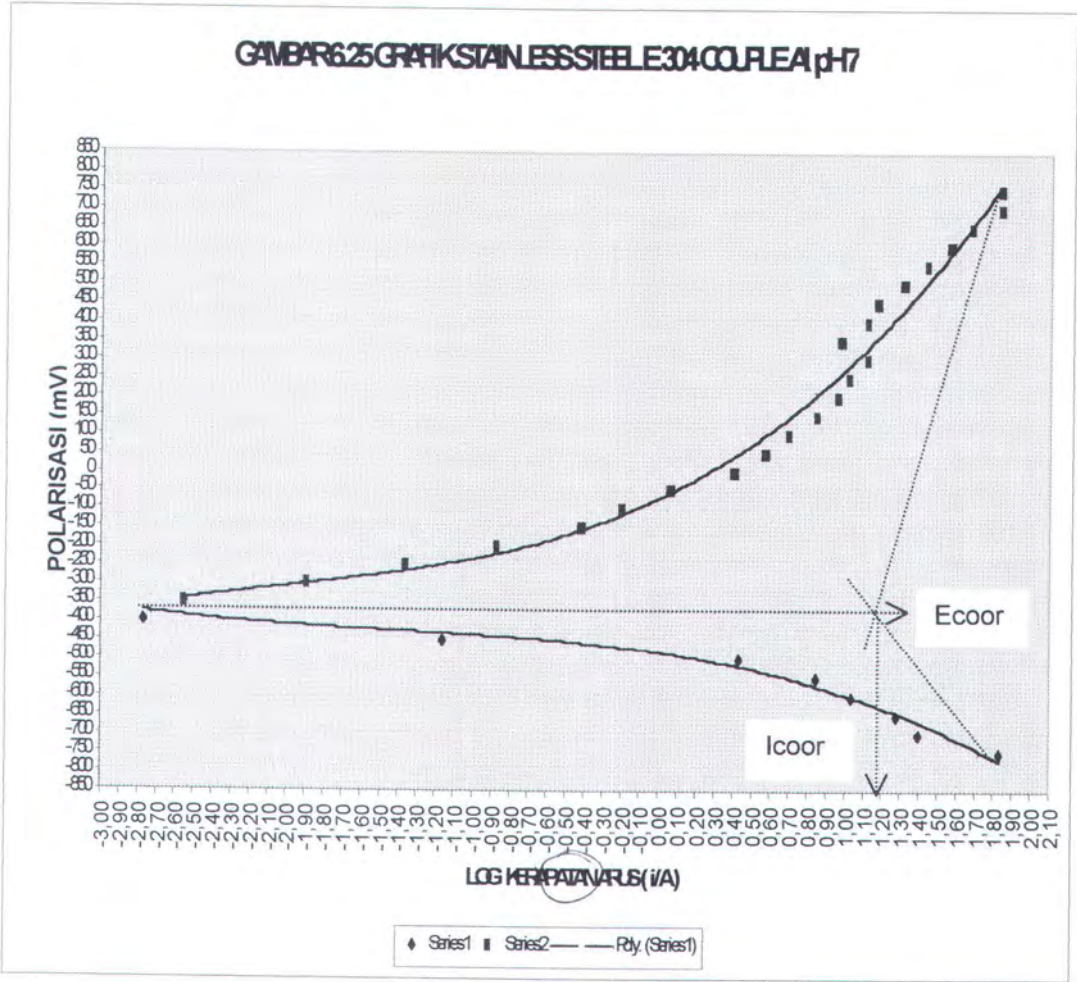
Untuk melengkapi data perhitungan pada Bab. IV ini, penulis lampirkan pula salah satu contoh hasil pengujian pada logam stainless steel E 304 untuk menghitung besar arus yang mengalir diantara elektroda kerja dengan elektroda acuan, yang telah dijelaskan panjang lebar di bagian depan laporan ini. Selain itu juga dilampirkan pula salah satu contoh grafik antara polarisasi ( mV ) dengan kerapatan arus ( mA ) untuk mencari  $i_{corr}$ . Tetapi untuk lebih lengkap, untuk setiap kondisi kerja dari logam kerja baik derajat keasaman yang berbeda-beda maupun kondisi logam kerja yang dikopel maupun yang tidak dikopel dapat dilihat pada halaman lampiran di bagian akhir laporan tugas akhir ini.



Tabel 4.5 Data hasil percobaan stainless stel E 304 pada kalium klorida pH 7 dengan dikopel seng ( Zn )

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-800	73,61	5,888	0,7700
-750	71,93	5,754	0,7600
-700	64,11	5,129	0,7100
-650	54,56	4,365	0,6400
-600	39,53	3,162	0,5000
-550	32,13	2,570	0,4100
-500	18,49	1,479	0,1700
-450	10,89	0,871	-0,0600
-400	0,26	0,021	-1,6800
-350	0,02	0,002	-2,7200
-300	0,02	0,002	-2,7000
-250	0,07	0,006	-2,2400
-200	0,22	0,018	-1,7500
-150	0,55	0,044	-1,3600
-100	1,19	0,095	-1,0200
-50	2,38	0,191	-0,7200
0	3,95	0,316	-0,5000
50	8,65	0,692	-0,1600
100	11,67	0,933	-0,0300
150	18,49	1,479	0,1700
200	20,74	1,660	0,2200
250	27,98	2,239	0,3500
300	25,52	2,042	0,3100
350	32,13	2,570	0,4100
400	35,88	2,871	0,4580
450	46,44	3,715	0,5700
500	38,63	3,090	0,4900
550	57,14	4,571	0,6600
600	57,14	4,571	0,6600
650	67,13	5,370	0,7300

Gambar 4.2 Grafik hubungan antara Log Kerapatan Arus (  $i/A$  )  
dan Polarisasi ( mV )  
( J. Chamberlain & K.R. Trethewey, “ Korosi Untuk Mahasiswa “, 1991 )



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.1. KESIMPULAN

Dalam tugas akhir ini telah dilakukan beberapa percobaan pada material stainless steel E 304 untuk mengetahui laju korosinya yang berada pada media kalium klorida ( KCl ), serta membandingkan laju korosi dari logam apabila logam tersebut tanpa dikopel, dikopel dengan aluminium, dan dikopel dengan seng.

Dari hasil percobaan di laboratorium, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Laju korosi pada logam yang dikopel dengan aluminium atau seng lebih baik dari logam yang tidak dikopel.
2. Anoda tumbal dari aluminium ( Al ) secara teknis lebih baik dibandingkan dengan anoda tumbal seng ( Zn ) dalam fungsinya sebagai proteksi bagi logam utama, khususnya untuk besi, tetapi secara ekonomis aluminium lebih mahal harganya dibandingkan dengan seng, serta lebih mudah mendapatkannya karena banyak beredar di pasaran umum.
3. Semakin kecil pH dari suatu larutan, maka larutan itu akan semakin bersifat korosif terhadap logam yang berada di dalamnya.



## V.2. SARAN

Untuk kepentingan perkembangan pengetahuan dalam bidang konstruksi dan perencanaan, data yang ada di dalam tulisan ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menghitung besarnya laju korosi dari baja, khususnya E 304 dalam media kalium klorida ( KCl ) atau pupuk KCl. Dari data laju korosi yang ada dapat digunakan untuk menentukan jumlah berat yang hilang dalam logam per tahunnya, sehingga kita dapat memperkirakan umur dari suatu konstruksi baja tersebut.

Untuk pengembangan selanjutnya dari tulisan ini, ada baiknya kalau variabel suhu atau temperatur dijadikan sebagai acuan untuk melakukan percobaan di laboratorium, karena suhu merupakan faktor yang sangat penting dalam proses korosi selain faktor lainnya, seperti derajat keasaman dan faktor lingkungan lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. A.J. de Bethure and N.A.S Loud, “ Standart Aqueous Electrode Potential and Temperature at 25<sup>0</sup> “, Clifford. A. Hampel, Stokie, III, 1964.
2. Annual Book of ASTM Standart Part 10, Volume III, II, 1994.
3. Donald, “ Pocker “, 1977.
4. Ir. Heri Soepomo, MSc, “ Diktat kuliah Korosi FTK – ITS “.
5. J. Chamberlain and K.R. Trethewey, “ Korosi, Untuk Mahasiswa dan rekayasawan “, 1991.
6. M.G. Montana, “ Corrosion Engineering “, 2<sup>nd</sup> edition.

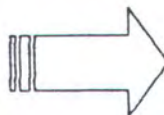
---

---

*LAMPIRAN TABEL*

---

---





Luasan SS E 304	12,5	cm <sup>2</sup>
Luasan Zinc anode	2	cm <sup>2</sup>
Luasan Aluminium anode	10	cm <sup>2</sup>

Tabel 6.1 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 uncouple pH 5

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	127,91	10,233	1,0100
-700	101,60	8,128	0,9100
-650	83,35	6,668	0,8240
-600	66,36	5,309	0,7250
-550	57,14	4,571	0,6600
-500	46,44	3,715	0,5700
-450	39,53	3,162	0,5000
-400	35,23	2,818	0,4500
-350	22,75	1,820	0,2600
-300	12,13	0,971	-0,0130
-250	6,12	0,490	-0,3100
-200	2,44	0,195	-0,7100
-150	1,03	0,082	-1,0860
-100	1,52	0,122	-0,9140
-50	2,25	0,180	-0,7450
0	4,96	0,397	-0,4010
50	7,69	0,615	-0,2110
100	9,06	0,724	-0,1400
150	17,10	1,368	0,1360
200	19,36	1,549	0,1900
250	29,85	2,388	0,3780
300	59,01	4,721	0,6740
350	64,40	5,152	0,7120
400	180,68	14,454	1,1600
450	207,45	16,596	1,2200
500	252,88	20,230	1,3060
550	286,36	22,909	1,3600
600	310,39	24,831	1,3950
650	349,87	27,990	1,4470
700	391,66	31,333	1,4960
750	497,63	39,811	1,6000

Tabel 6.2 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS  
Austenitic E 304 uncouple pH 5

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	127,94	10,235	1,0101
-700	108,87	8,710	0,9400
-650	84,53	6,762	0,8301
-600	64,40	5,152	0,7120
-550	57,11	4,569	0,6598
-500	46,45	3,716	0,5701
-450	39,54	3,163	0,5001
-400	35,24	2,819	0,4501
-350	22,75	1,820	0,2600
-300	12,13	0,971	-0,0129
-250	6,12	0,490	-0,3099
-200	2,48	0,198	-0,7023
-150	1,03	0,082	-1,0860
-100	1,48	0,118	-0,9280
-50	2,28	0,182	-0,7389
0	4,98	0,398	-0,4000
50	7,71	0,617	-0,2100
100	9,06	0,724	-0,1400
150	17,22	1,377	0,1390
200	19,40	1,552	0,1910
250	29,71	2,377	0,3760
300	56,35	4,508	0,6540
350	62,94	5,035	0,7020
400	155,56	12,445	1,0950
450	189,20	15,136	1,1800
500	236,00	18,880	1,2760
550	255,22	20,417	1,3100
600	395,49	31,640	1,5002
650	352,30	28,184	1,4500
700	391,57	31,326	1,4959
750	497,75	39,820	1,6001

Tabel 6.3 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 uncouple pH 5

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	$i/A$ (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	127,97	10,238	1,0102
-700	108,87	8,710	0,9400
-650	84,53	6,762	0,8301
-600	64,55	5,164	0,7130
-550	57,18	4,574	0,6603
-500	46,45	3,716	0,5701
-450	39,54	3,163	0,5001
-400	35,24	2,819	0,4501
-350	22,75	1,820	0,2600
-300	12,13	0,971	-0,0129
-250	6,11	0,489	-0,3106
-200	2,48	0,198	-0,7023
-150	1,03	0,082	-1,0860
-100	1,48	0,118	-0,9280
-50	2,28	0,182	-0,7389
0	4,97	0,398	-0,4005
50	7,71	0,617	-0,2100
100	9,06	0,724	-0,1400
150	17,22	1,377	0,1390
200	19,40	1,552	0,1910
250	29,70	2,376	0,3758
300	56,35	4,508	0,6540
350	62,94	5,035	0,7020
400	155,56	12,445	1,0950
450	189,20	15,136	1,1800
500	235,67	18,854	1,2754
550	255,22	20,417	1,3100
600	396,47	31,718	1,5013
650	352,30	28,184	1,4500
700	391,57	31,326	1,4959
750	496,95	39,756	1,5994



Luasan SS E 304	12,5	cm <sup>2</sup>
Luasan Zinc anode	2	cm <sup>2</sup>
Luasan Aluminium anode	10	cm <sup>2</sup>

Tabel 6.4 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 uncouple pH 6

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	38,27	3,062	0,4860
-700	35,23	2,818	0,4500
-650	32,58	2,606	0,4160
-600	31,25	2,500	0,3980
-550	27,79	2,223	0,3470
-500	22,90	1,832	0,2630
-450	20,74	1,660	0,2200
-400	17,37	1,390	0,1430
-350	13,83	1,107	0,0440
-300	9,27	0,741	-0,1300
-250	4,24	0,339	-0,4700
-200	1,75	0,140	-0,8530
-150	0,83	0,067	-1,1760
-100	0,84	0,067	-1,1740
-50	1,60	0,128	-0,8920
0	2,12	0,170	-0,7700
50	2,86	0,229	-0,6400
100	3,94	0,316	-0,5010
150	5,09	0,407	-0,3900
200	6,85	0,548	-0,2610
250	9,82	0,785	-0,1050
300	12,97	1,038	0,0160
350	18,07	1,445	0,1600
400	22,08	1,766	0,2470
450	24,37	1,950	0,2900
500	27,98	2,239	0,3500
550	32,88	2,630	0,4200
600	37,75	3,020	0,4800
650	42,85	3,428	0,5350
700	40,82	3,266	0,5140
750	45,80	3,664	0,5640

Tabel 6.5 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 uncouple pH 6

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	39,89	3,192	0,5040
-700	36,05	2,884	0,4600
-650	33,64	2,692	0,4300
-600	31,84	2,547	0,4060
-550	30,47	2,438	0,3870
-500	27,60	2,208	0,3440
-450	23,65	1,892	0,2770
-400	19,95	1,596	0,2030
-350	15,38	1,230	0,0900
-300	9,26	0,741	-0,1301
-250	3,62	0,290	-0,5380
-200	1,28	0,102	-0,9900
-150	0,60	0,048	-1,3200
-100	0,96	0,077	-1,1160
-50	1,61	0,129	-0,8910
0	2,12	0,170	-0,7700
50	3,00	0,240	-0,6200
100	4,04	0,324	-0,4900
150	5,46	0,437	-0,3600
200	6,64	0,531	-0,2750
250	10,23	0,818	-0,0870
300	12,02	0,962	-0,0170
350	15,81	1,265	0,1020
400	18,07	1,445	0,1600
450	24,37	1,950	0,2900
500	28,06	2,245	0,3512
550	32,80	2,624	0,4190
600	37,75	3,020	0,4800
650	42,45	3,396	0,5310
700	44,35	3,548	0,5500
750	45,78	3,663	0,5638

Tabel 6.7 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 uncouple pH 6

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	39,80	3,184	0,5030
-700	35,96	2,877	0,4589
-650	31,78	2,543	0,4053
-600	31,84	2,547	0,4060
-550	30,34	2,427	0,3851
-500	28,00	2,240	0,3502
-450	23,65	1,892	0,2770
-400	19,99	1,600	0,2040
-350	15,34	1,227	0,0889
-300	9,26	0,741	-0,1301
-250	3,62	0,290	-0,5380
-200	1,01	0,081	-1,0930
-150	0,60	0,048	-1,3200
-100	0,96	0,077	-1,1160
-50	1,61	0,129	-0,8900
0	2,22	0,178	-0,7500
50	2,73	0,219	-0,6600
100	3,86	0,309	-0,5100
150	5,46	0,437	-0,3600
200	6,64	0,531	-0,2750
250	10,23	0,818	-0,0871
300	12,02	0,962	-0,0170
350	15,92	1,274	0,1050
400	18,15	1,452	0,1620
450	24,38	1,950	0,2901
500	28,00	2,240	0,3502
550	32,80	2,624	0,4190
600	37,74	3,019	0,4799
650	42,56	3,405	0,5321
700	44,87	3,589	0,5550
750	45,77	3,662	0,5637



Luasan SS E 304	12,5	cm <sup>2</sup>
Luasan Zinc anode	2	cm <sup>2</sup>
Luasan Aluminium anode	10	cm <sup>2</sup>

Tabel 6.7 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 uncouple pH 7

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	391,10	10,715	1,0300
-700	371,79	10,186	1,0080
-650	366,68	10,046	1,0020
-600	366,26	10,035	1,0015
-550	310,67	8,511	0,9300
-500	205,25	5,623	0,7500
-450	79,85	2,188	0,3400
-400	37,26	1,021	0,0090
-350	6,95	0,191	-0,7200
-300	2,58	0,071	-1,1500
-250	0,96	0,026	-1,5800
-200	1,45	0,040	-1,4000
-150	2,10	0,058	-1,2400
-100	2,71	0,074	-1,1300
-50	3,62	0,099	-1,0030
0	4,54	0,124	-0,9050
50	8,36	0,229	-0,6400
100	12,23	0,335	-0,4750
150	18,36	0,503	-0,2984
200	24,45	0,670	-0,1740
250	29,99	0,822	-0,0853
300	45,14	1,237	0,0923
350	59,20	1,622	0,2100
400	65,06	1,782	0,2510
450	98,24	2,692	0,4300
500	267,48	7,328	0,8650
550	463,23	12,691	1,1035
600	494,76	13,555	1,1321
650	594,83	16,297	1,2121
700	702,74	19,253	1,2845
750	793,04	21,727	1,3370

Tabel 6.8 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 uncouple pH 7

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	140,58	11,246	1,0510
-700	127,32	10,186	1,0080
-650	125,75	10,060	1,0026
-600	125,29	10,023	1,0010
-550	126,16	10,093	1,0040
-500	78,87	6,310	0,8000
-450	45,38	3,631	0,5600
-400	12,79	1,023	0,0100
-350	1,19	0,095	-1,0210
-300	1,23	0,098	-1,0081
-250	0,79	0,063	-1,2008
-200	0,67	0,054	-1,2689
-150	0,76	0,061	-1,2140
-100	0,83	0,066	-1,1800
-50	1,24	0,099	-1,0030
0	1,62	0,130	-0,8872
50	2,54	0,203	-0,6920
100	3,52	0,282	-0,5501
150	6,34	0,507	-0,2950
200	8,35	0,668	-0,1751
250	10,27	0,822	-0,0852
300	15,46	1,237	0,0924
350	15,81	1,265	0,1020
400	22,38	1,791	0,2530
450	20,51	1,641	0,2150
500	89,72	7,178	0,8560
550	158,86	12,709	1,1041
600	169,48	13,558	1,1322
650	203,66	16,293	1,2120
700	240,66	19,253	1,2845
750	274,10	21,928	1,3410

Tabel 6.9 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS  
Austenitic E 304 uncouple pH 7

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	139,13	11,130	1,0465
-700	127,03	10,162	1,0070
-650	125,61	10,048	1,0021
-600	125,40	10,032	1,0014
-550	94,82	7,586	0,8800
-500	79,05	6,324	0,8010
-450	35,23	2,818	0,4500
-400	12,76	1,021	0,0091
-350	2,80	0,224	-0,6500
-300	0,79	0,063	-1,2000
-250	0,33	0,026	-1,5800
-200	0,44	0,035	-1,4500
-150	0,60	0,048	-1,3200
-100	0,88	0,071	-1,1510
-50	1,24	0,099	-1,0029
0	1,62	0,129	-0,8880
50	2,49	0,200	-0,7000
100	4,00	0,320	-0,4950
150	6,34	0,507	-0,2950
200	8,35	0,668	-0,1752
250	10,28	0,822	-0,0851
300	13,39	1,072	0,0300
350	18,07	1,445	0,1600
400	22,38	1,791	0,2530
450	45,38	3,631	0,5600
500	89,74	7,180	0,8561
550	125,00	10,000	1,0000
600	169,44	13,555	1,1321
650	203,66	16,293	1,2120
700	240,55	19,244	1,2843
	750	274,10	21,928



Luasan SS 304	12,5 cm <sup>2</sup>
Luasan Zinc anode	2 cm <sup>2</sup>
Luasan Aluminium anode	10 cm <sup>2</sup>

Tabel 6.10 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS  
Austenitic E 304 couple Zn pH 5

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	293,03	23,442	1,3700
-700	255,22	20,417	1,3100
-650	215,23	17,219	1,2360
-600	161,03	12,882	1,1100
-550	94,82	7,586	0,8800
-500	56,48	4,519	0,6550
-450	38,27	3,062	0,4860
-400	20,51	1,641	0,2150
-350	7,71	0,617	-0,2100
-300	5,33	0,427	-0,3700
-250	3,51	0,281	-0,5510
-200	1,67	0,134	-0,8740
-150	0,27	0,022	-1,6650
-100	1,07	0,086	-1,0680
-50	1,85	0,148	-0,8300
0	3,07	0,245	-0,6100
50	5,71	0,457	-0,3400
100	11,94	0,955	-0,0200
150	33,26	2,661	0,4250
200	54,56	4,365	0,6400
250	67,13	5,370	0,7300
300	88,49	7,079	0,8500
350	125,00	10,000	1,0000
400	197,20	15,776	1,1980
450	291,01	23,281	1,3670
500	386,29	30,903	1,4900
550	423,56	33,884	1,5300
600	549,43	43,954	1,6430
650	592,80	47,424	1,6760
700	653,00	52,240	1,7180
750	679,06	54,325	1,7350

Tabel 6.11 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS  
Austenitic E 304 couple Zn pH 5

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	292,29	23,383	1,3689
-700	256,45	20,516	1,3121
-650	215,28	17,223	1,2361
-600	165,92	13,274	1,1230
-550	98,93	7,914	0,8984
-500	56,56	4,525	0,6556
-450	38,27	3,062	0,4860
-400	20,55	1,644	0,2160
-350	7,68	0,615	-0,2113
-300	5,31	0,425	-0,3720
-250	3,51	0,281	-0,5510
-200	1,64	0,132	-0,8810
-150	0,27	0,022	-1,6640
-100	1,07	0,086	-1,0670
-50	1,84	0,147	-0,8327
0	2,99	0,239	-0,6210
50	5,71	0,457	-0,3400
100	11,91	0,953	-0,0210
150	33,18	2,655	0,4240
200	54,56	4,365	0,6400
250	65,75	5,260	0,7210
300	88,51	7,081	0,8501
350	125,87	10,069	1,0030
400	197,29	15,783	1,1982
450	302,63	24,210	1,3840
500	392,56	31,405	1,4970
550	423,75	33,900	1,5302
600	560,93	44,875	1,6520
650	592,80	47,424	1,6760
700	658,13	52,650	1,7214
750	671,29	53,703	1,7300

Tabel 6.12 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 couple Zn pH 5

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	293,10	23,448	1,3701
-700	256,45	20,516	1,3121
-650	215,28	17,223	1,2361
-600	165,92	13,274	1,1230
-550	99,36	7,949	0,9003
-500	56,61	4,529	0,6560
-450	38,27	3,062	0,4860
-400	20,55	1,644	0,2160
-350	7,68	0,614	-0,2115
-300	5,31	0,425	-0,3720
-250	3,51	0,281	-0,5510
-200	1,64	0,132	-0,8810
-150	0,27	0,022	-1,6639
-100	1,07	0,086	-1,0670
-50	1,84	0,147	-0,8325
0	2,99	0,239	-0,6210
50	5,71	0,457	-0,3400
100	11,91	0,953	-0,0210
150	33,27	2,661	0,4251
200	54,53	4,362	0,6397
250	65,75	5,260	0,7210
300	88,51	7,081	0,8501
350	129,10	10,328	1,0140
400	197,11	15,769	1,1978
450	302,63	24,210	1,3840
500	397,38	31,791	1,5023
550	423,75	33,900	1,5302
600	560,93	44,875	1,6520
650	591,98	47,359	1,6754
700	658,13	52,650	1,7214
750	669,59	53,567	1,7289



Luasan SS 304	12,5 cm <sup>2</sup>
Luasan Zinc anode	2 cm <sup>2</sup>
Luasan Aluminium anode	10 cm <sup>2</sup>

Tabel 6.13 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 couple Zn pH 6

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	26,48	2,118	0,3260
-700	25,11	2,009	0,3030
-650	24,26	1,941	0,2880
-600	23,28	1,862	0,2700
-550	22,43	1,795	0,2540
-500	20,55	1,644	0,2160
-450	15,74	1,259	0,1000
-400	10,16	0,813	-0,0900
-350	4,84	0,387	-0,4120
-300	2,70	0,216	-0,6660
-250	1,29	0,103	-0,9870
-200	0,45	0,036	-1,4400
-150	0,24	0,020	-1,7090
-100	0,88	0,070	-1,1540
-50	1,49	0,119	-0,9240
0	2,49	0,200	-0,7000
50	3,44	0,275	-0,5600
100	4,45	0,356	-0,4490
150	5,49	0,440	-0,3570
200	8,00	0,640	-0,1940
250	9,70	0,776	-0,1100
300	12,02	0,962	-0,0170
350	14,25	1,140	0,0570
400	17,25	1,380	0,1400
450	20,27	1,622	0,2100
500	22,02	1,762	0,2460
550	23,28	1,862	0,2700
600	24,37	1,950	0,2900
650	25,29	2,023	0,3060
700	25,70	2,056	0,3130
750	26,36	2,109	0,3240

Tabel 6.14 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS  
Austenitic E 304 couple Zn pH 6

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	26,47	2,117	0,3258
-700	26,36	2,109	0,3240
-650	25,94	2,075	0,3170
-600	25,06	2,004	0,3020
-550	23,82	1,905	0,2800
-500	20,55	1,644	0,2160
-450	15,74	1,259	0,1000
-400	10,16	0,813	-0,0900
-350	4,86	0,389	-0,4101
-300	2,70	0,216	-0,6660
-250	1,29	0,103	-0,9860
-200	0,58	0,047	-1,3320
-150	0,33	0,027	-1,5730
-100	0,88	0,070	-1,1520
-50	1,49	0,119	-0,9240
0	2,50	0,200	-0,6998
50	3,44	0,275	-0,5600
100	4,45	0,356	-0,4490
150	5,48	0,438	-0,3582
200	7,96	0,637	-0,1958
250	9,70	0,776	-0,1100
300	12,02	0,962	-0,0170
350	15,59	1,247	0,0960
400	18,28	1,462	0,1650
450	20,89	1,671	0,2230
500	22,49	1,799	0,2550
550	24,66	1,972	0,2950
600	25,70	2,056	0,3130
650	26,54	2,123	0,3270
700	26,72	2,138	0,3300
750	27,35	2,188	0,3400

Tabel 6.15 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 couple Zn pH 6

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	26,47	2,118	0,3259
-700	25,88	2,070	0,3160
-650	25,53	2,042	0,3101
-600	24,16	1,932	0,2861
-550	23,73	1,898	0,2784
-500	20,57	1,646	0,2164
-450	15,74	1,260	0,1002
-400	10,16	0,813	-0,0900
-350	4,85	0,388	-0,4114
-300	2,69	0,216	-0,6664
-250	1,29	0,103	-0,9858
-200	0,62	0,050	-1,3030
-150	0,32	0,026	-1,5930
-100	0,67	0,054	-1,2700
-50	1,22	0,098	-1,0100
0	2,22	0,178	-0,7500
50	2,73	0,219	-0,6600
100	3,53	0,282	-0,5490
150	5,49	0,440	-0,3570
200	7,85	0,628	-0,2020
250	9,73	0,778	-0,1090
300	12,01	0,961	-0,0174
350	14,04	1,123	0,0504
400	17,82	1,426	0,1540
450	20,32	1,626	0,2110
500	22,49	1,799	0,2550
550	23,33	1,866	0,2710
600	24,60	1,968	0,2940
650	25,25	2,020	0,3054
700	25,64	2,051	0,3120
750	26,97	2,158	0,3340



Luasan SS 304	12,5 cm <sup>2</sup>
Luasan Zinc anode	2 cm <sup>2</sup>
Luasan Aluminium anode	10 cm <sup>2</sup>

Tabel 6.16 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS  
Austenitic E 304 couple Zn pH 7

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	73,61	5,888	0,7700
-700	71,93	5,754	0,7600
-650	64,11	5,129	0,7100
-600	54,56	4,365	0,6400
-550	39,53	3,162	0,5000
-500	32,13	2,570	0,4100
-450	18,49	1,479	0,1700
-400	10,89	0,871	-0,0600
-350	0,26	0,021	-1,6800
-300	0,02	0,002	-2,7200
-250	0,02	0,002	-2,7000
-200	0,07	0,006	-2,2400
-150	0,22	0,018	-1,7500
-100	0,55	0,044	-1,3600
-50	1,19	0,095	-1,0200
0	2,38	0,191	-0,7200
50	3,95	0,316	-0,5000
100	8,65	0,692	-0,1600
150	11,67	0,933	-0,0300
200	18,49	1,479	0,1700
250	20,74	1,660	0,2200
300	27,98	2,239	0,3500
350	25,52	2,042	0,3100
400	32,13	2,570	0,4100
450	35,88	2,871	0,4580
500	46,44	3,715	0,5700
550	38,63	3,090	0,4900
600	57,14	4,571	0,6600
650	57,14	4,571	0,6600
700	67,13	5,370	0,7300
750	64,11	5,129	0,7100

Tabel 6.17 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS  
Austenitic E 304 couple Zn pH 7

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	73,64	5,891	0,7702
-700	71,93	5,754	0,7600
-650	64,09	5,127	0,7099
-600	54,63	4,370	0,6405
-550	39,72	3,178	0,5021
-500	32,13	2,570	0,4100
-450	18,49	1,479	0,1700
-400	10,88	0,871	-0,0601
-350	0,26	0,021	-1,6798
-300	0,02	0,002	-2,7200
-250	0,02	0,002	-2,7000
-200	0,07	0,006	-2,2401
-150	0,22	0,018	-1,7501
-100	0,55	0,044	-1,3600
-50	1,19	0,095	-1,0200
0	2,38	0,190	-0,7206
50	3,95	0,316	-0,4998
100	8,65	0,692	-0,1600
150	11,67	0,933	-0,0300
200	18,49	1,479	0,1700
250	20,74	1,660	0,2200
300	27,90	2,232	0,3488
350	25,53	2,043	0,3102
400	32,17	2,573	0,4105
450	35,23	2,818	0,4500
500	46,44	3,715	0,5700
550	38,63	3,090	0,4900
600	57,24	4,579	0,6608
650	57,14	4,571	0,6600
700	67,28	5,383	0,7310
750	63,95	5,116	0,7089

Tabel 6.18 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS  
Austenitic E 304 couple Zn pH 7

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	73,64	5,891	0,7702
-700	71,90	5,752	0,7598
-650	64,09	5,127	0,7099
-600	54,63	4,370	0,6405
-550	39,72	3,178	0,5021
-500	32,13	2,570	0,4100
-450	18,48	1,479	0,1699
-400	10,88	0,871	-0,0601
-350	0,26	0,021	-1,6798
-300	0,02	0,002	-2,7202
-250	0,02	0,002	-2,7000
-200	0,07	0,006	-2,2401
-150	0,22	0,018	-1,7526
-100	0,55	0,044	-1,3600
-50	1,19	0,095	-1,0200
0	2,38	0,190	-0,7206
50	3,93	0,315	-0,5021
100	8,65	0,692	-0,1600
150	11,67	0,933	-0,0300
200	18,49	1,479	0,1700
250	20,70	1,656	0,2190
300	27,90	2,232	0,3488
350	25,53	2,043	0,3102
400	32,17	2,573	0,4105
450	35,28	2,822	0,4506
500	46,44	3,715	0,5700
550	38,63	3,090	0,4900
600	56,99	4,559	0,6589
650	57,20	4,576	0,6605
700	67,28	5,383	0,7310
750	63,93	5,114	0,7088



Luasan SS 304	12,5 cm <sup>2</sup>
Luasan Zinc anode	2 cm <sup>2</sup>
Luasan Aluminium anode	10 cm <sup>2</sup>

Tabel 6.19 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 couple Al pH 5

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	137,06	10,965	1,0400
-700	114,00	9,120	0,9600
-650	92,88	7,430	0,8710
-600	74,63	5,970	0,7760
-550	66,82	5,346	0,7280
-500	55,32	4,426	0,6460
-450	39,08	3,126	0,4950
-400	24,37	1,950	0,2900
-350	14,35	1,148	0,0600
-300	6,64	0,531	-0,2750
-250	3,29	0,263	-0,5800
-200	1,28	0,102	-0,9900
-150	0,38	0,030	-1,5190
-100	0,10	0,008	-2,1000
-50	0,24	0,019	-1,7225
0	0,60	0,048	-1,3200
50	1,28	0,102	-0,9900
100	2,03	0,162	-0,7892
150	3,27	0,262	-0,5818
200	4,98	0,398	-0,4000
250	7,46	0,597	-0,2240
300	10,76	0,861	-0,0650
350	15,38	1,230	0,0900
400	28,11	2,249	0,3520
450	41,01	3,281	0,5160
500	82,02	6,561	0,8170
550	137,06	10,965	1,0400
600	172,55	13,804	1,1400
650	203,57	16,285	1,2118
700	226,47	18,118	1,2581
750	261,16	20,893	1,3200

Tabel 6.20 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 couple Al pH 5

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	229,35	10,977	1,0405
-700	190,72	9,129	0,9604
-650	155,24	7,430	0,8710
-600	124,74	5,970	0,7760
-550	111,69	5,346	0,7280
-500	93,39	4,470	0,6503
-450	65,31	3,126	0,4950
-400	40,74	1,950	0,2900
-350	23,98	1,148	0,0599
-300	11,09	0,531	-0,2750
-250	5,50	0,263	-0,5800
-200	2,15	0,103	-0,9878
-150	0,63	0,030	-1,5190
-100	0,17	0,008	-2,1000
-50	0,35	0,017	-1,7709
0	1,00	0,048	-1,3200
50	2,14	0,102	-0,9900
100	3,39	0,162	-0,7892
150	5,47	0,262	-0,5818
200	8,32	0,398	-0,3999
250	12,47	0,597	-0,2240
300	17,99	0,861	-0,0650
350	25,74	1,232	0,0906
400	46,99	2,249	0,3520
450	68,55	3,281	0,5160
500	137,09	6,561	0,8170
550	229,09	10,965	1,0400
600	288,40	13,804	1,1400
650	347,54	16,634	1,2210
700	378,53	18,118	1,2581
750	441,67	21,140	1,3251

Tabel 6.21 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS  
Austenitic E 304 couple Al pH 5

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	231,85	10,967	1,0401
-700	192,80	9,120	0,9600
-650	157,07	7,430	0,8710
-600	126,21	5,970	0,7760
-550	112,98	5,344	0,7279
-500	94,49	4,470	0,6503
-450	65,84	3,115	0,4934
-400	41,22	1,950	0,2900
-350	24,27	1,148	0,0599
-300	11,22	0,531	-0,2750
-250	5,55	0,263	-0,5806
-200	2,17	0,103	-0,9878
-150	0,64	0,030	-1,5189
-100	0,17	0,008	-2,1000
-50	0,36	0,017	-1,7709
0	1,01	0,048	-1,3200
50	2,16	0,102	-0,9899
100	3,43	0,162	-0,7892
150	5,54	0,262	-0,5818
200	8,42	0,398	-0,3999
250	12,60	0,596	-0,2249
300	18,20	0,861	-0,0650
350	26,00	1,230	0,0899
400	47,54	2,249	0,3520
450	69,36	3,281	0,5160
500	139,86	6,616	0,8206
550	232,27	10,988	1,0409
600	291,81	13,804	1,1400
650	351,64	16,634	1,2210
700	382,65	18,101	1,2577
750	446,89	21,140	1,3251



Luasan SS 304	12,5 cm <sup>2</sup>
Luasan Zinc anode	2 cm <sup>2</sup>
Luasan Aluminium anode	10 cm <sup>2</sup>

Tabel 6.22 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS  
Austenitic E 304 couple Al pH 6

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	34,43	2,754	0,4400
-700	33,80	2,704	0,4320
-650	32,35	2,588	0,4130
-600	31,62	2,529	0,4030
-550	29,57	2,366	0,3740
-500	24,37	1,950	0,2900
-450	18,49	1,479	0,1700
-400	12,30	0,984	-0,0070
-350	6,34	0,507	-0,2950
-300	3,82	0,305	-0,5150
-250	2,15	0,172	-0,7640
-200	1,36	0,109	-0,9640
-150	0,66	0,053	-1,2760
-100	0,37	0,030	-1,5300
-50	0,87	0,069	-1,1597
0	1,29	0,103	-0,9870
50	2,00	0,160	-0,7960
100	4,41	0,353	-0,4520
150	8,00	0,640	-0,1940
200	13,30	1,064	0,0270
250	19,83	1,587	0,2005
300	31,77	2,542	0,4051
350	40,56	3,245	0,5112
400	47,80	3,824	0,5825
450	51,54	4,123	0,6152
500	58,83	4,707	0,6727
550	62,23	4,979	0,6971
600	62,68	5,014	0,7002
650	68,79	5,503	0,7406
700	76,21	6,097	0,7851
750	78,84	6,307	0,7999

Tabel 6.23 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 couple Al pH 6

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	34,47	2,757	0,4405
-700	33,80	2,704	0,4320
-650	32,35	2,588	0,4130
-600	32,35	2,588	0,4130
-550	29,57	2,366	0,3740
-500	24,37	1,950	0,2900
-450	18,51	1,481	0,1705
-400	12,28	0,982	-0,0078
-350	6,34	0,507	-0,2950
-300	3,82	0,305	-0,5150
-250	2,15	0,172	-0,7639
-200	1,36	0,109	-0,9640
-150	0,66	0,053	-1,2781
-100	0,37	0,030	-1,5300
-50	0,87	0,069	-1,1597
0	1,31	0,105	-0,9799
50	2,00	0,160	-0,7960
100	4,41	0,353	-0,4520
150	7,99	0,639	-0,1945
200	13,30	1,064	0,0270
250	19,83	1,587	0,2005
300	31,76	2,541	0,4050
350	40,59	3,247	0,5115
400	47,80	3,824	0,5825
450	51,54	4,123	0,6152
500	58,80	4,704	0,6725
550	62,23	4,979	0,6971
600	63,30	5,064	0,7045
650	68,79	5,503	0,7406
700	76,32	6,105	0,7857
750	78,78	6,302	0,7995

Tabel 6.24 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS  
Austenitic E 304 couple Al pH 6

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	34,47	2,757	0,4405
-700	33,80	2,704	0,4320
-650	32,51	2,601	0,4151
-600	32,35	2,588	0,4130
-550	29,61	2,369	0,3745
-500	24,37	1,950	0,2900
-450	18,51	1,481	0,1705
-400	12,28	0,982	-0,0078
-350	6,34	0,507	-0,2950
-300	3,82	0,305	-0,5150
-250	2,15	0,172	-0,7639
-200	1,36	0,109	-0,9640
-150	0,66	0,053	-1,2763
-100	0,37	0,030	-1,5300
-50	0,87	0,069	-1,1597
0	1,26	0,100	-0,9981
50	2,00	0,160	-0,7960
100	4,41	0,353	-0,4520
150	7,99	0,639	-0,1944
200	13,30	1,064	0,0270
250	19,83	1,587	0,2005
300	31,78	2,543	0,4053
350	40,59	3,247	0,5115
400	47,74	3,819	0,5820
450	51,54	4,123	0,6152
500	58,80	4,704	0,6725
550	62,23	4,979	0,6971
600	63,30	5,064	0,7045
650	69,09	5,527	0,7425
700	76,32	6,105	0,7857
750	77,06	6,165	0,7899



Luasan SS 304	12,5 cm <sup>2</sup>
Luasan Zinc anode	2 cm <sup>2</sup>
Luasan Aluminium anode	10 cm <sup>2</sup>

Tabel 6.25 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS Austenitic E 304 couple Al pH 7

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	845,10	67,608	1,8300
-700	313,99	25,119	1,4000
-650	238,18	19,055	1,2800
-600	137,06	10,965	1,0400
-550	88,49	7,079	0,8500
-500	33,64	2,692	0,4300
-450	0,86	0,069	-1,1600
-400	0,02	0,002	-2,7700
-350	0,04	0,003	-2,5500
-300	0,16	0,013	-1,8900
-250	0,55	0,044	-1,3600
-200	1,69	0,135	-0,8700
-150	4,75	0,380	-0,4200
-100	7,89	0,631	-0,2000
-50	14,35	1,148	0,0600
0	31,40	2,512	0,4000
50	46,44	3,715	0,5700
100	62,65	5,012	0,7000
150	88,49	7,079	0,8500
200	114,00	9,120	0,9600
250	130,89	10,471	1,0200
300	164,78	13,183	1,1200
350	116,66	9,333	0,9700
400	164,78	13,183	1,1200
450	184,89	14,791	1,1700
500	255,22	20,417	1,3100
550	344,28	27,542	1,4400
600	453,85	36,308	1,5600
650	598,29	47,863	1,6800
700	845,10	67,608	1,8300
750	845,10	67,608	1,8300

Tabel 6.26 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS  
Austenitic E 304 couple Al pH 7

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	769,86	61,589	1,7895
-700	313,99	25,119	1,4000
-650	238,07	19,046	1,2798
-600	137,22	10,977	1,0405
-550	88,62	7,089	0,8506
-500	35,40	2,832	0,4521
-450	0,87	0,069	-1,1599
-400	0,02	0,002	-2,7731
-350	0,04	0,003	-2,5321
-300	0,16	0,013	-1,8900
-250	0,54	0,043	-1,3621
-200	1,69	0,135	-0,8699
-150	4,75	0,380	-0,4200
-100	7,88	0,630	-0,2005
-50	14,36	1,148	0,0601
0	31,44	2,515	0,4006
50	46,44	3,715	0,5700
100	65,57	5,246	0,7198
150	88,47	7,078	0,8499
200	114,61	9,169	0,9623
250	130,89	10,471	1,0200
300	165,96	13,277	1,1231
350	117,22	9,378	0,9721
400	167,11	13,369	1,1261
450	184,24	14,739	1,1685
500	258,17	20,654	1,3150
550	351,24	28,100	1,4487
600	453,85	36,308	1,5600
650	599,67	47,973	1,6810
700	849,20	67,936	1,8321
750	874,80	69,984	1,8450

Tabel 6.27 Data hasil percobaan dan perhitungan untuk logam SS  
Austenitic E 304 couple Al pH 7

Data hasil percobaan		Data hasil perhitungan	
Beda potensial (mV)	Arus (i) (mA)	i/A (mA/cm <sup>2</sup> )	log (i/A)
-750	770,57	61,645	1,7899
-700	313,99	25,119	1,4000
-650	238,18	19,055	1,2800
-600	137,06	10,965	1,0400
-550	88,49	7,079	0,8500
-500	33,64	2,692	0,4300
-450	0,86	0,069	-1,1605
-400	0,02	0,002	-2,7700
-350	0,04	0,003	-2,5500
-300	0,20	0,016	-1,8056
-250	0,55	0,044	-1,3600
-200	1,69	0,135	-0,8700
-150	4,75	0,380	-0,4200
-100	7,79	0,623	-0,2056
-50	14,35	1,148	0,0600
0	31,40	2,512	0,4000
50	46,44	3,715	0,5700
100	62,65	5,012	0,7000
150	88,49	7,079	0,8500
200	114,00	9,120	0,9600
250	130,89	10,471	1,0200
300	164,78	13,183	1,1200
350	116,66	9,333	0,9700
400	164,78	13,183	1,1200
450	184,89	14,791	1,1700
500	255,22	20,417	1,3100
550	344,28	27,542	1,4400
600	453,85	36,308	1,5600
650	598,29	47,863	1,6800
700	845,10	67,608	1,8300
750	845,10	67,608	1,8300



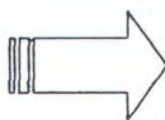
---

---

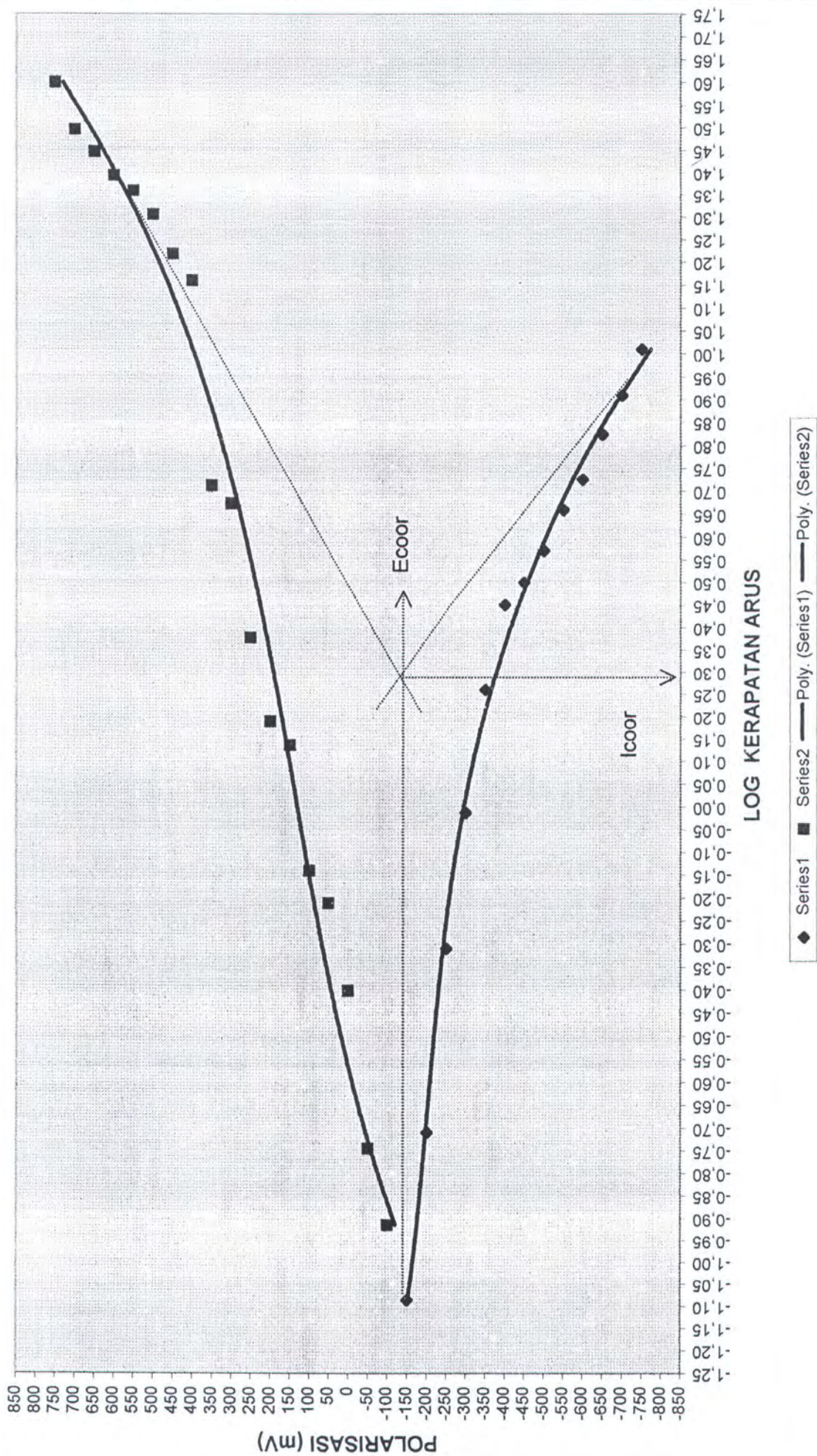
## *LAMPIRAN GAMBAR*

---

---

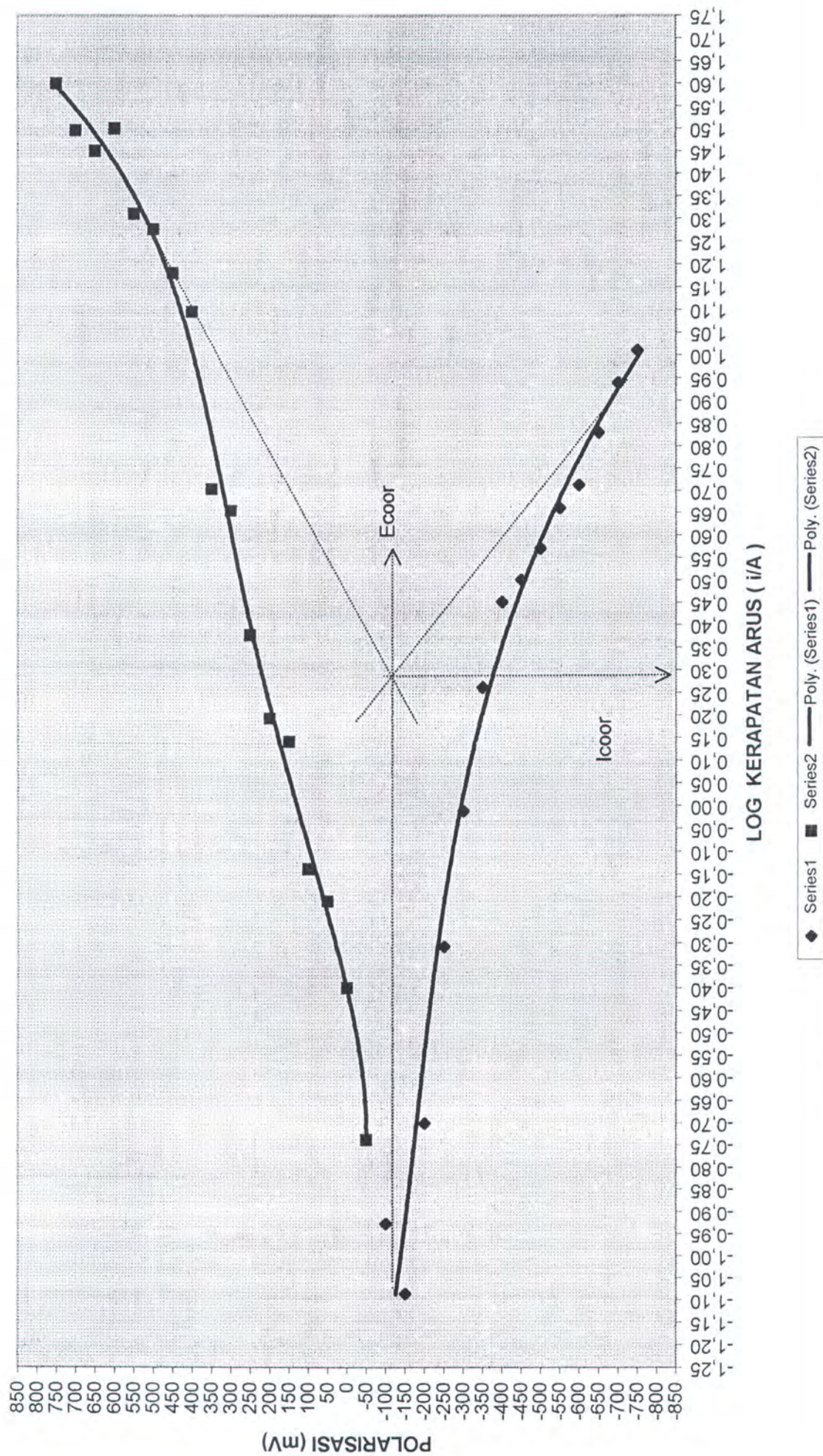


GAMBAR 6.1 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 UNCOUPLE pH 5



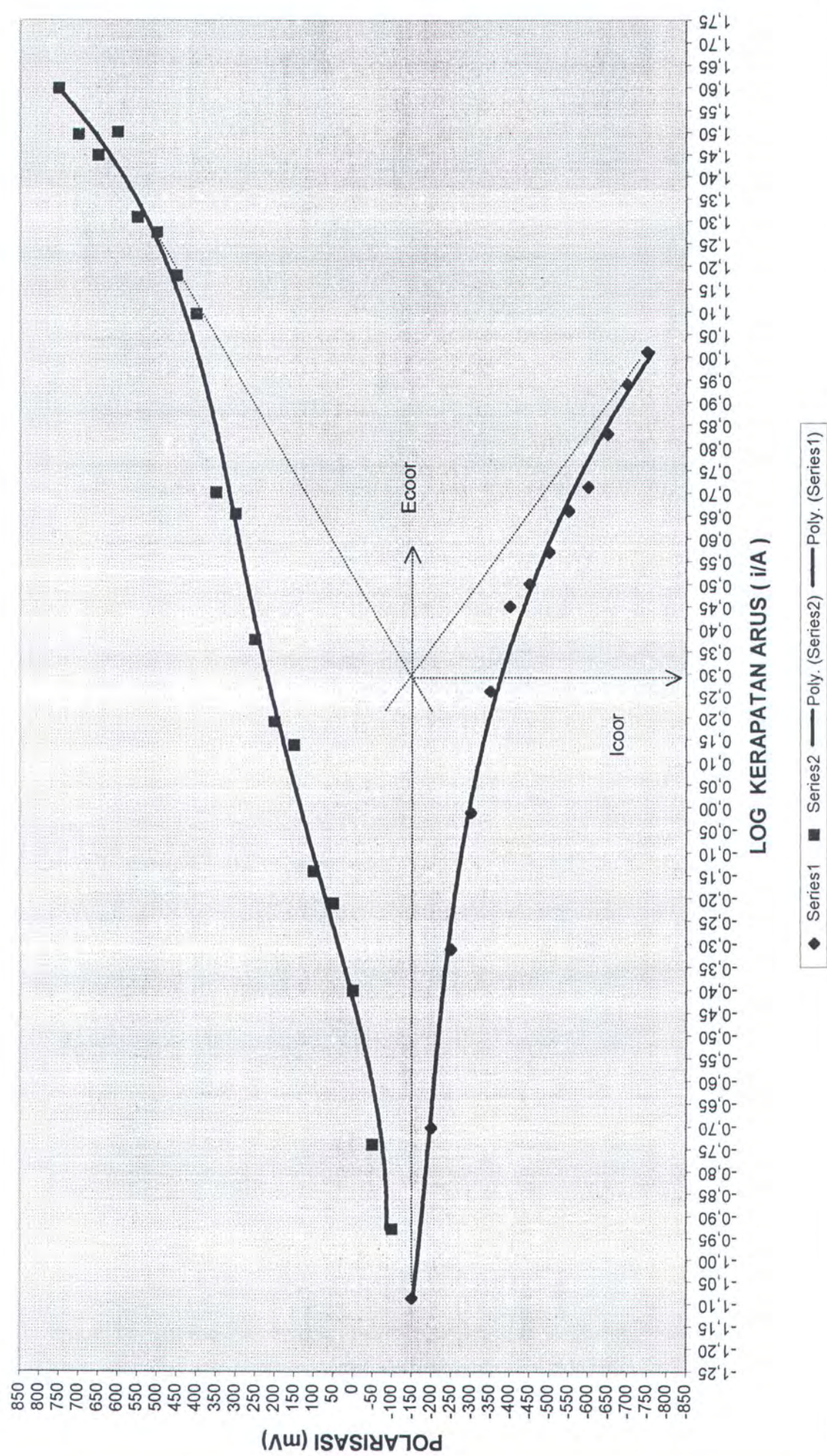


GAMBAR 6.2 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 UNCOUPLE pH 5



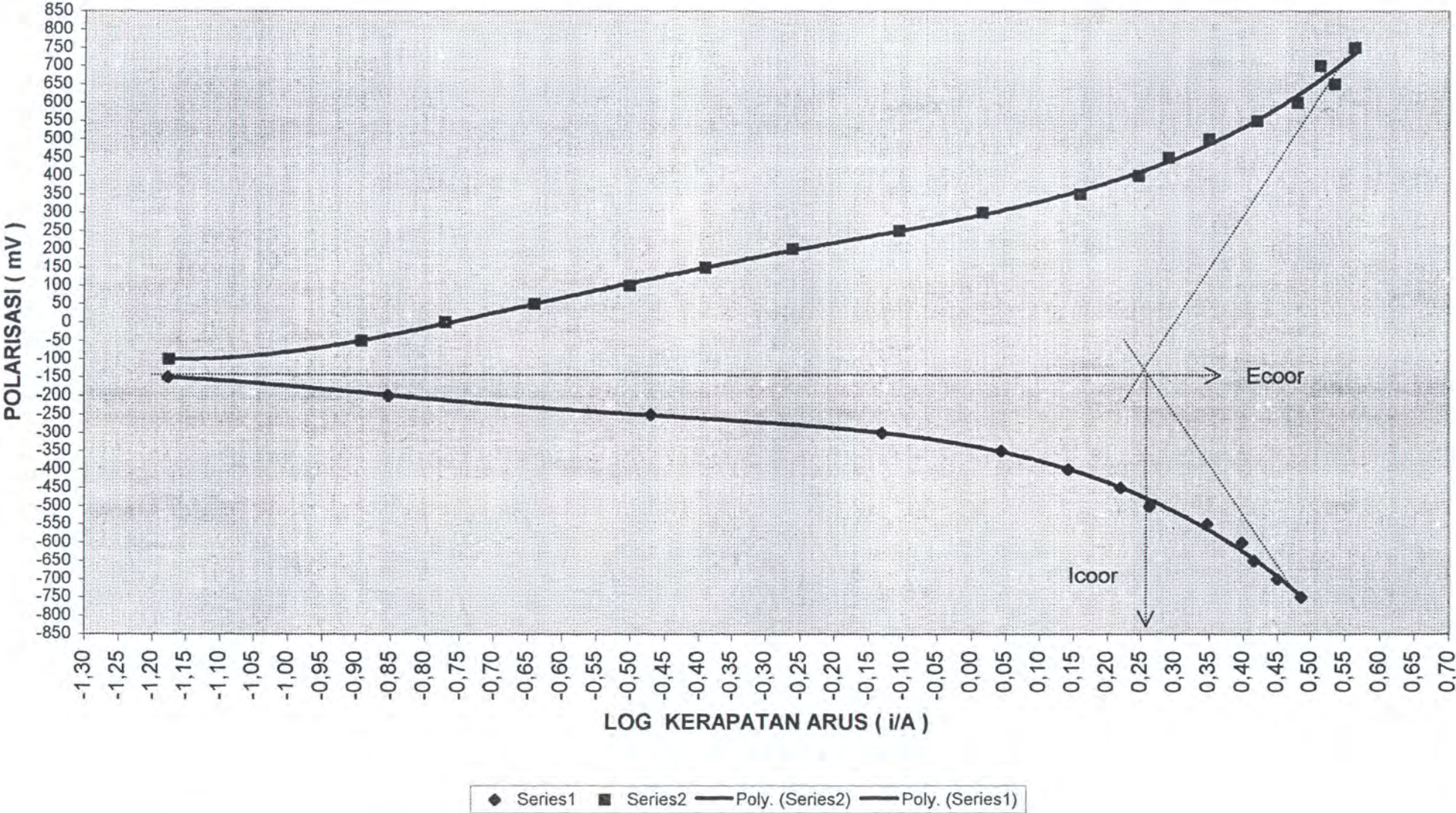


GAMBAR 6.3 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 UNCOUPLE pH 5



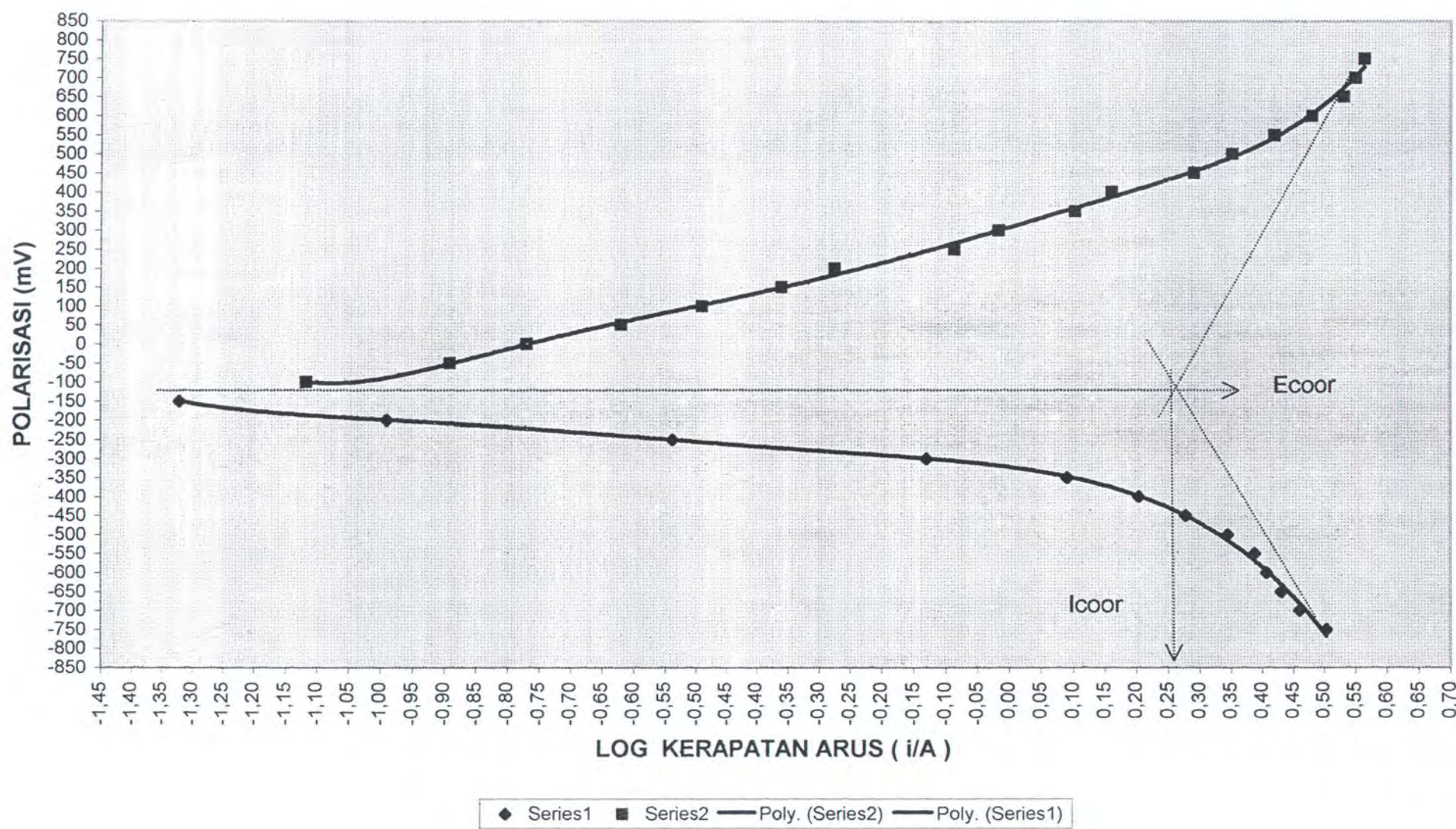


GAMBAR 6.4 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 UNCOUPLE pH 6



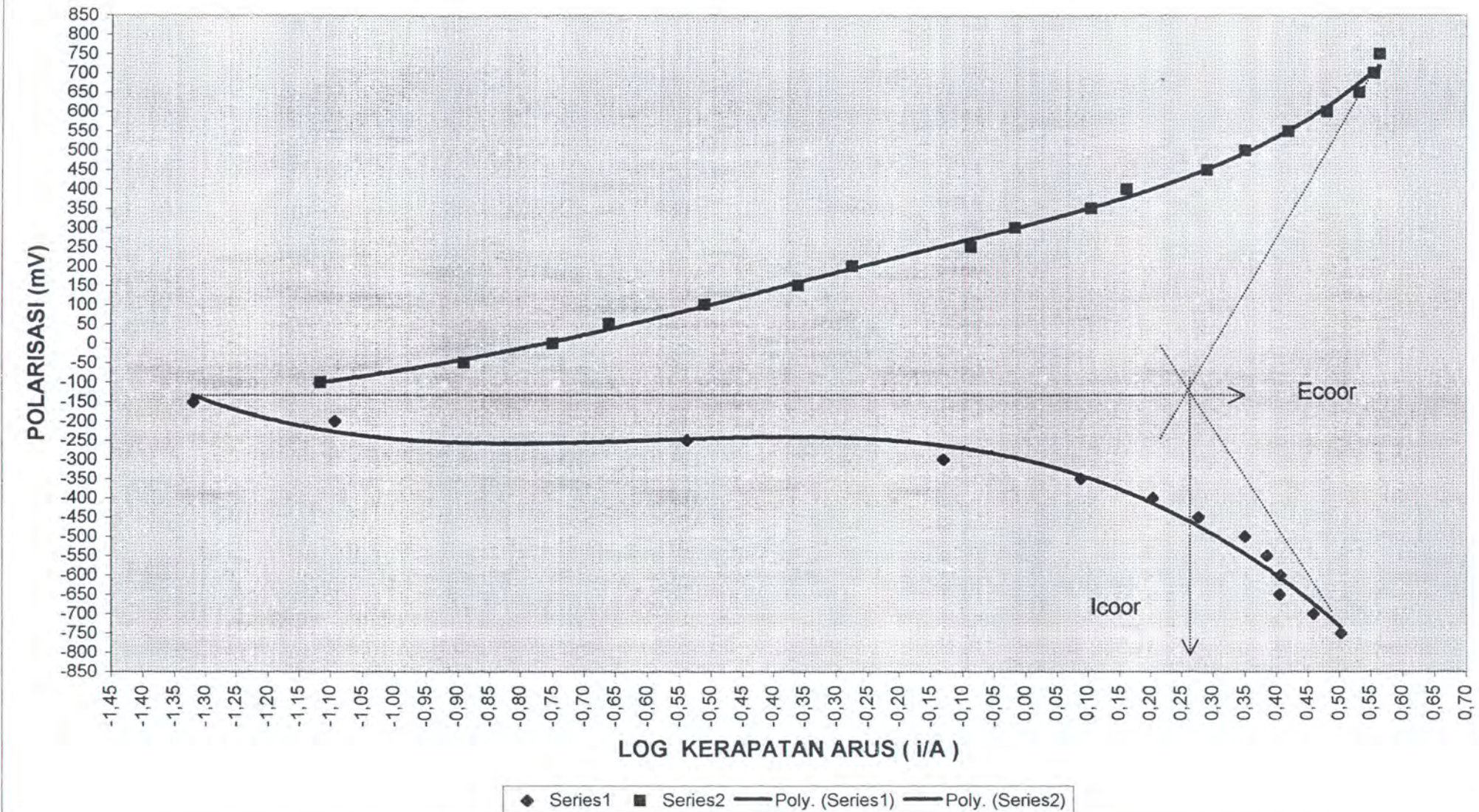


GAMBAR 6.5 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 UNCOUPLE pH 6



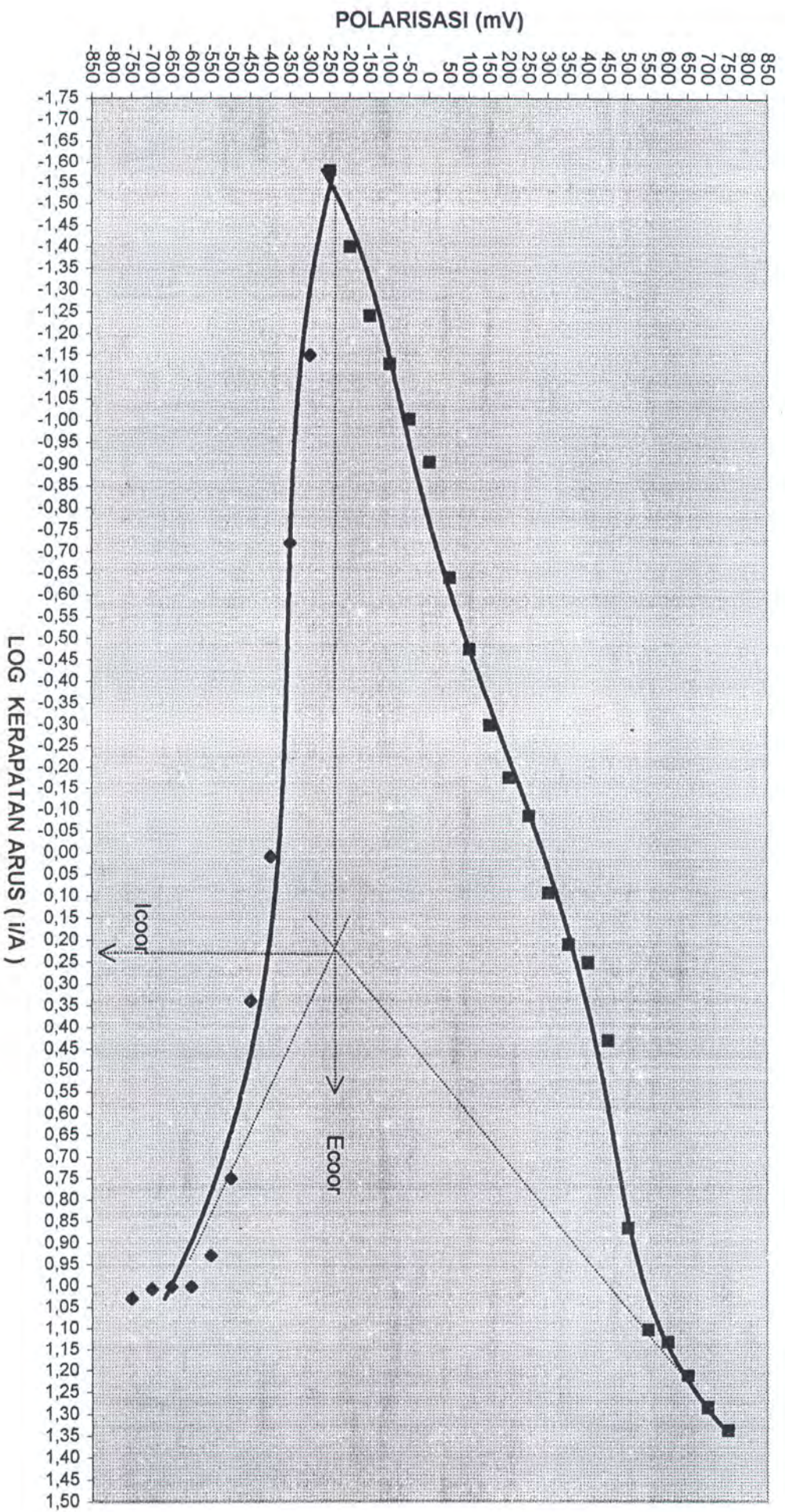


GAMBAR 6.6 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 UNCUOPLE pH 6



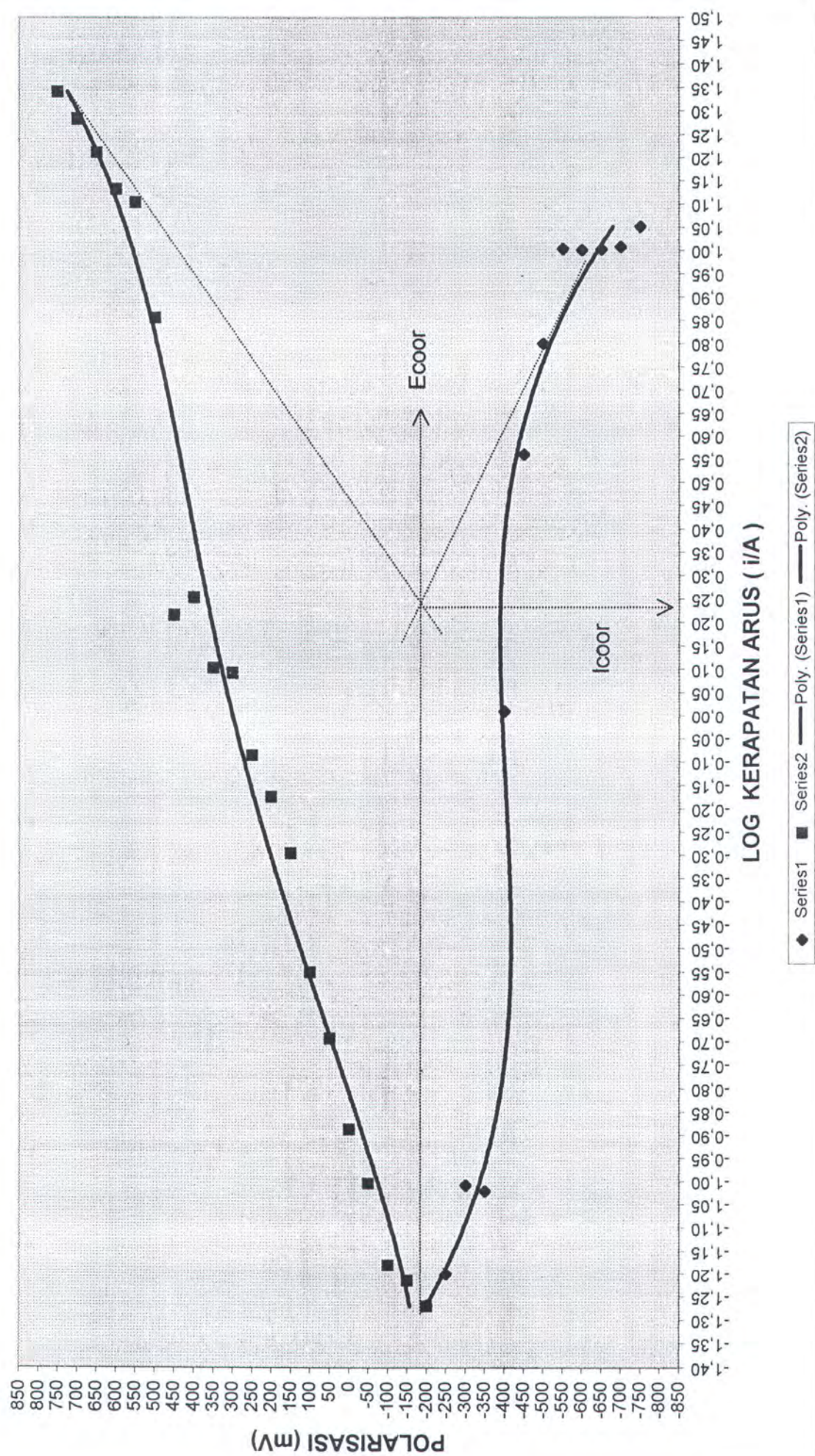


GAMBAR 6.7 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 UNCOUPLE pH 7



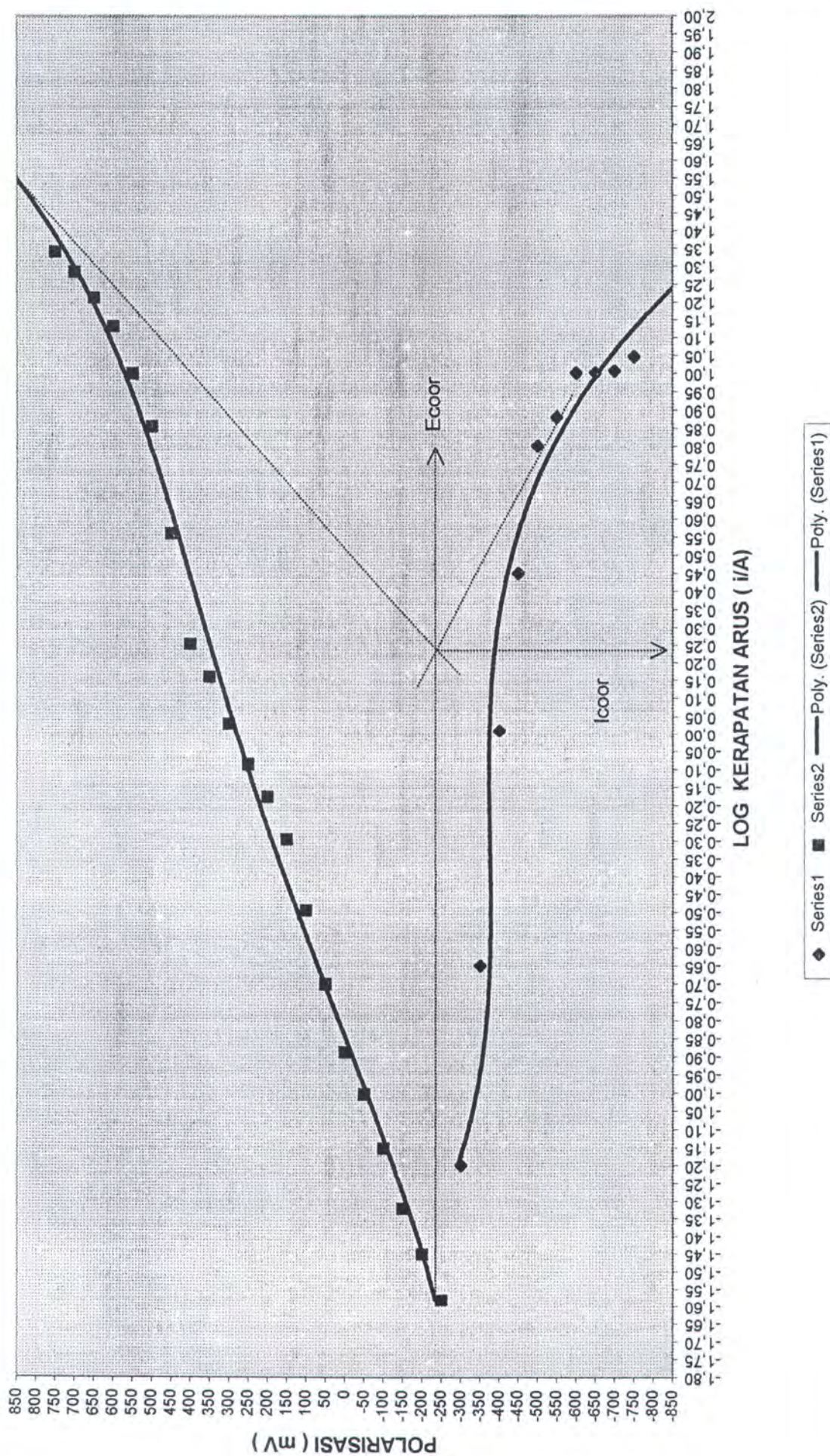


GAMBAR 6.8 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 UNCUIOPLE pH 7



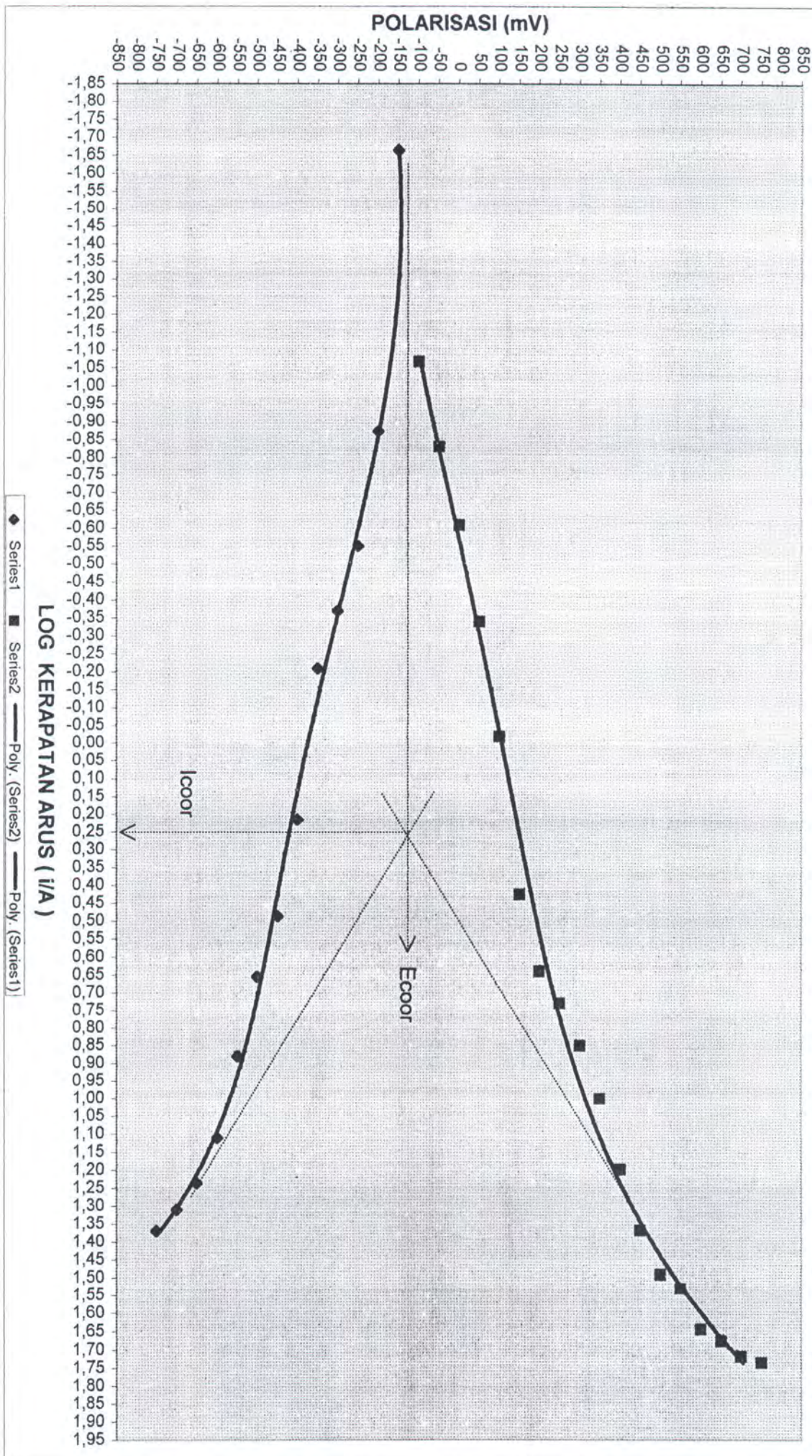


GAMBAR 6.9 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 UNCOUPLE pH 7



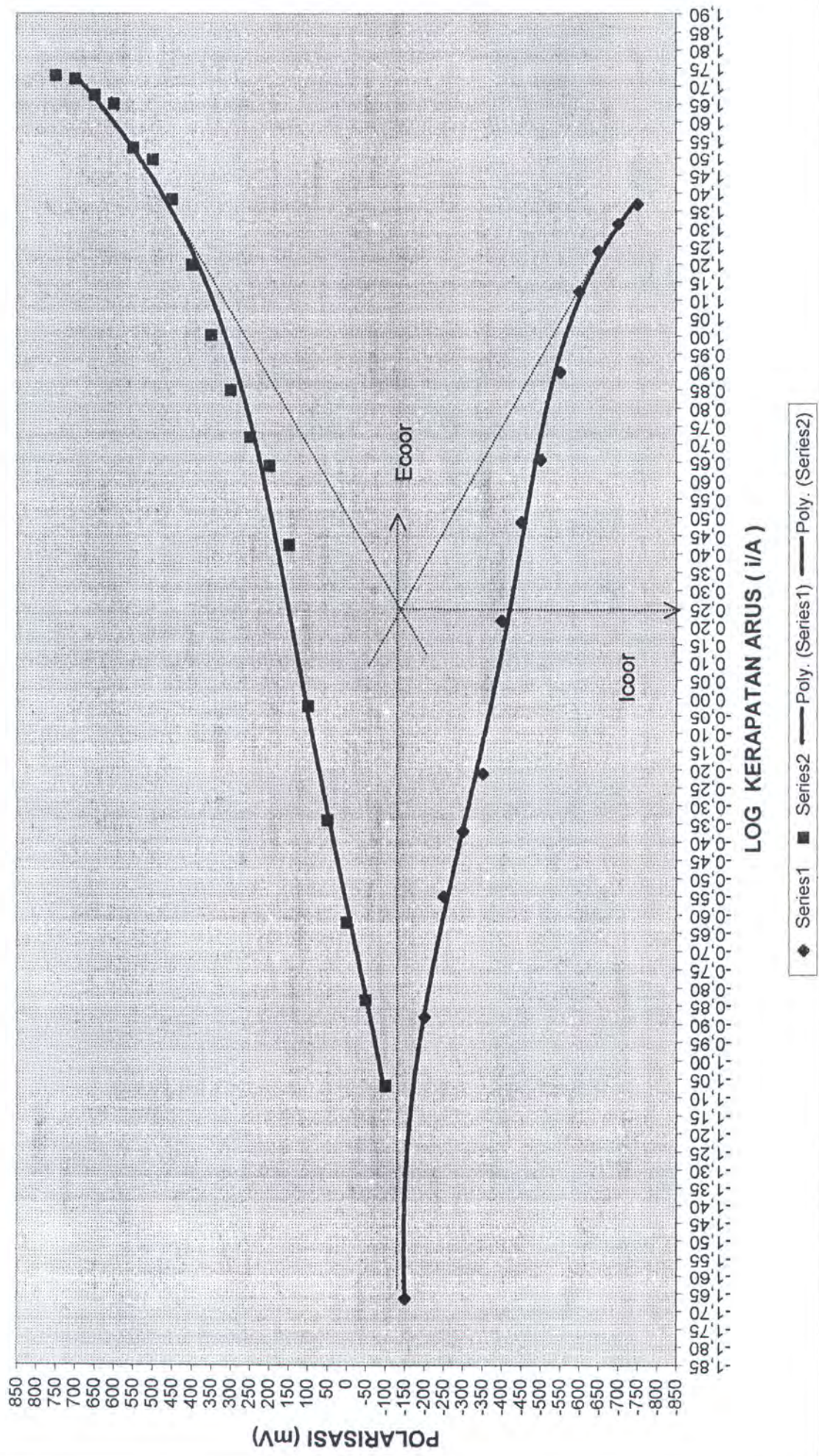


GAMBAR 6.10 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Zn pH 5



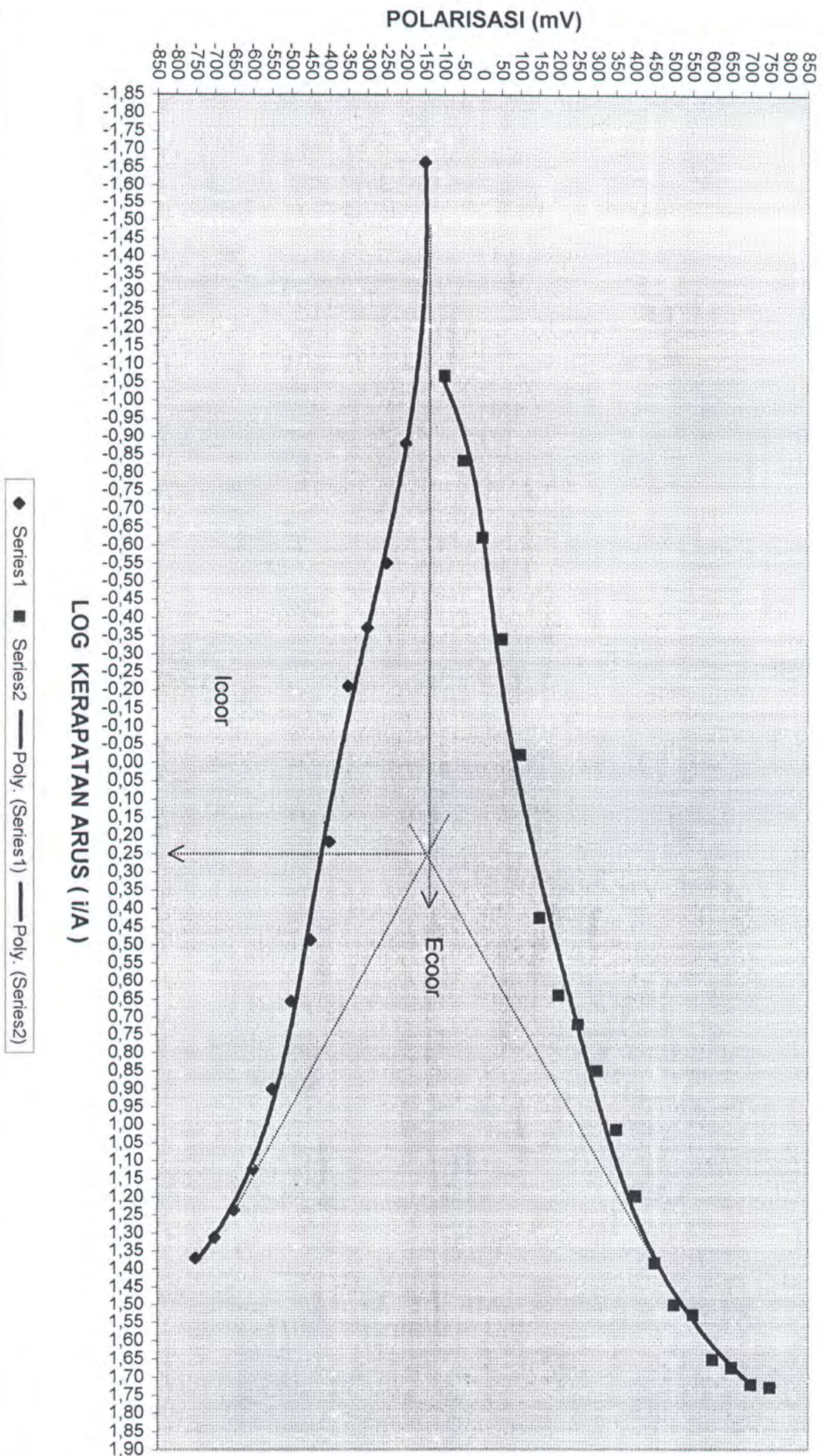


GAMBAR 6.11 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Zn pH 5



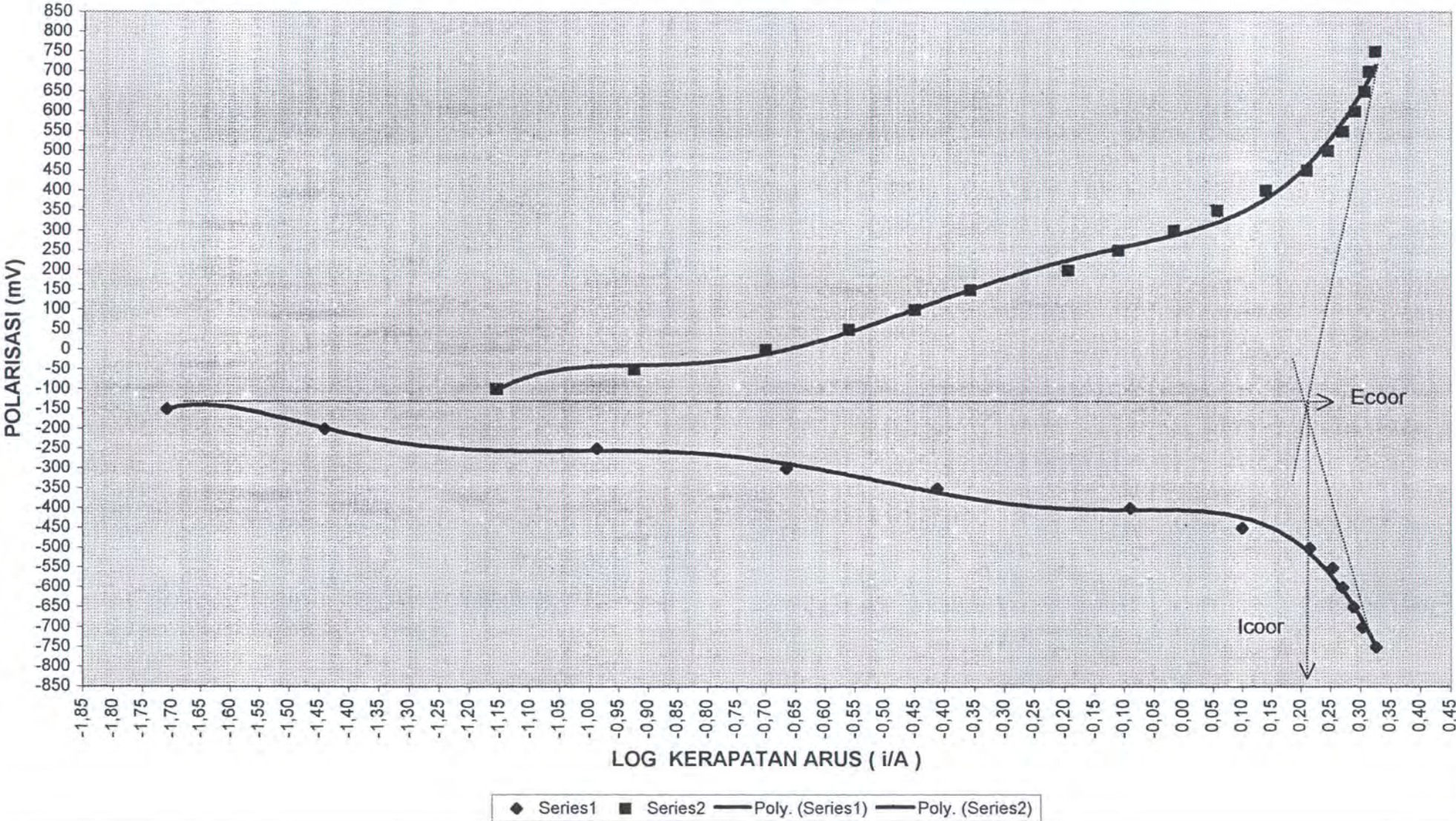


GAMBAR 6.12 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Zn pH 5



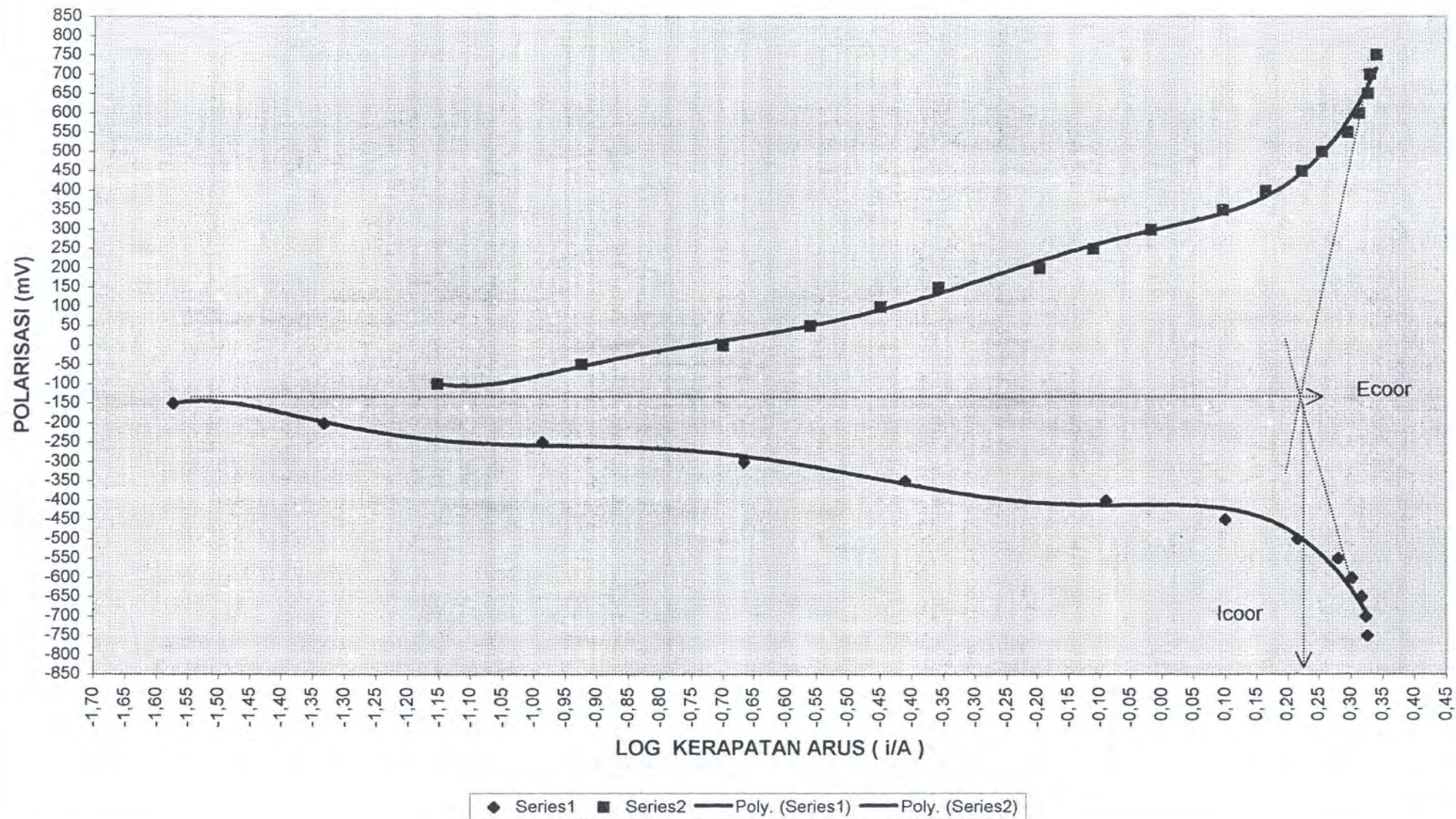


GAMBAR 6.13 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Zn pH 6



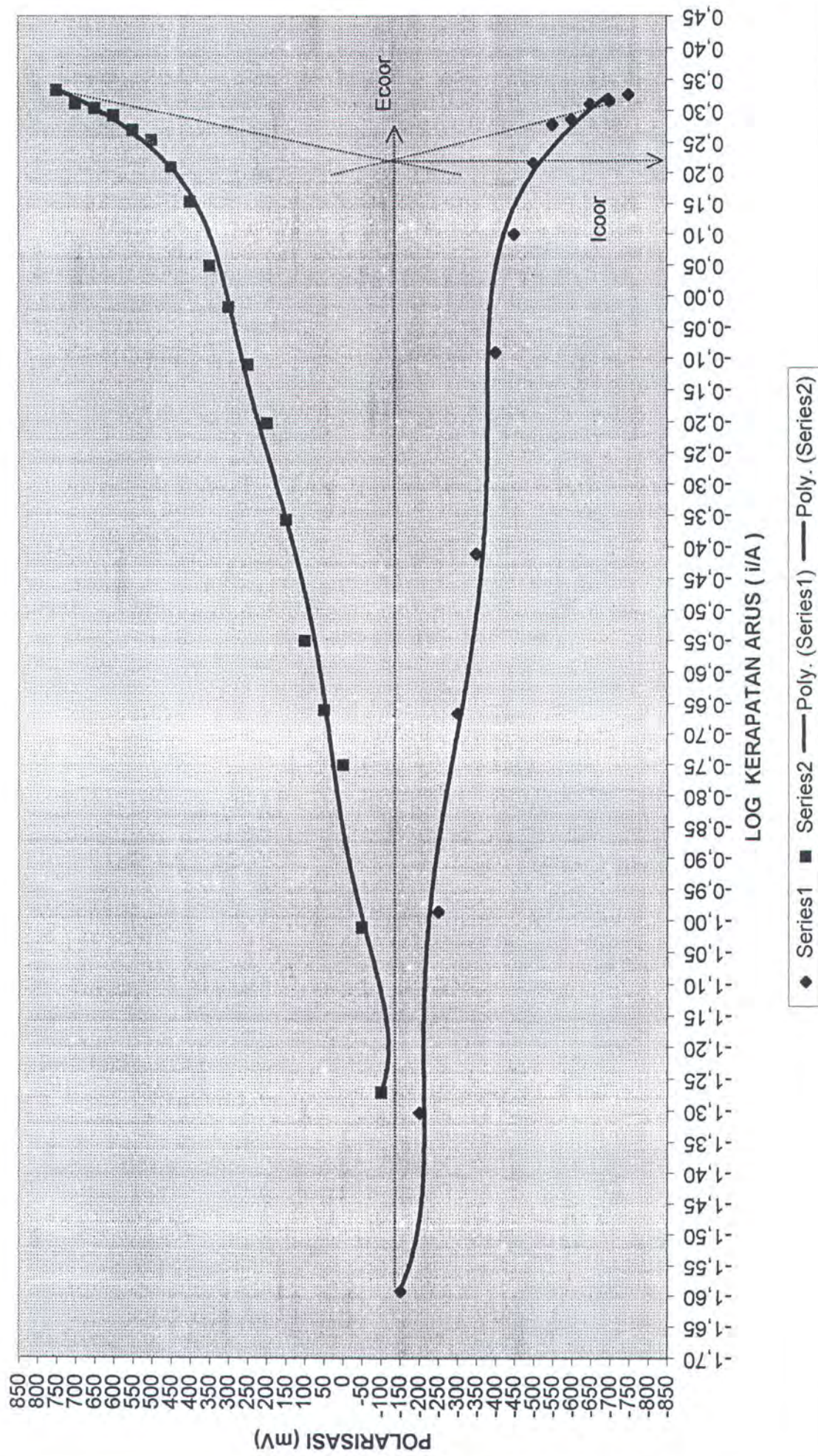


GAMBAR 6.14 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Zn pH 6



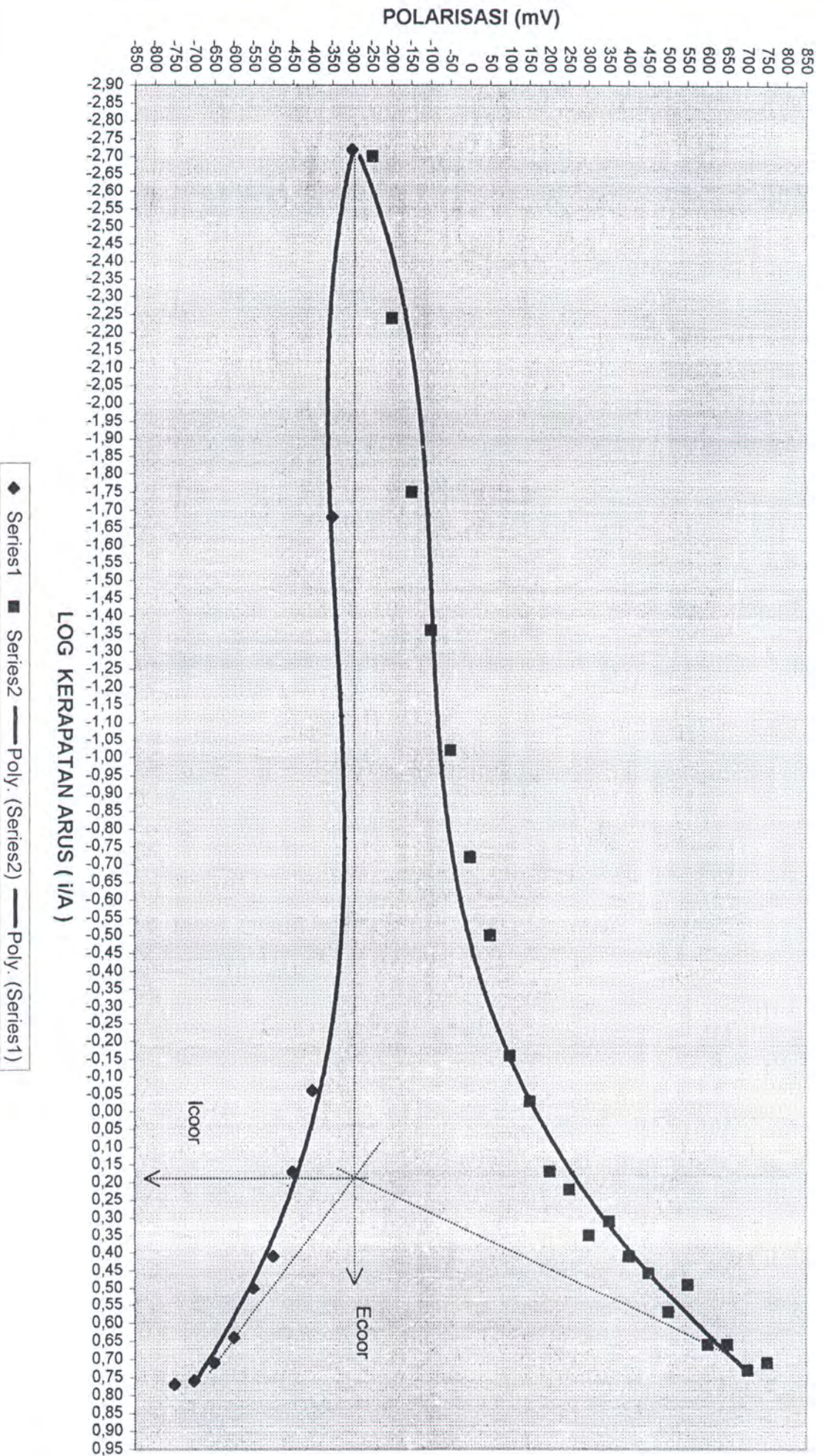


GAMBAR 6.15 GRAFIK ASTAINLESS STEEL E 304 COUPLE Zn pH 6



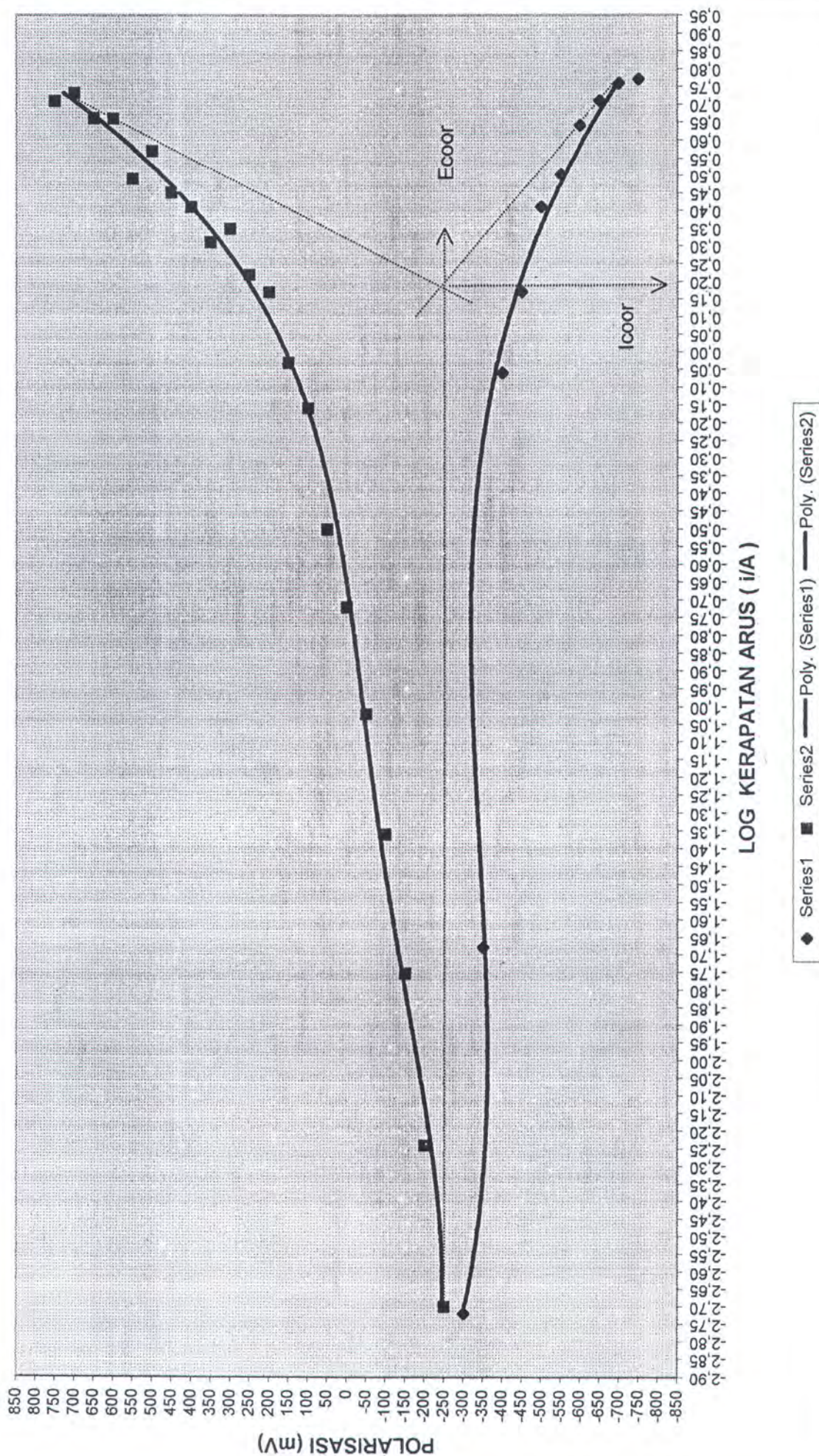


GAMBAR 6.16 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Zn pH 7



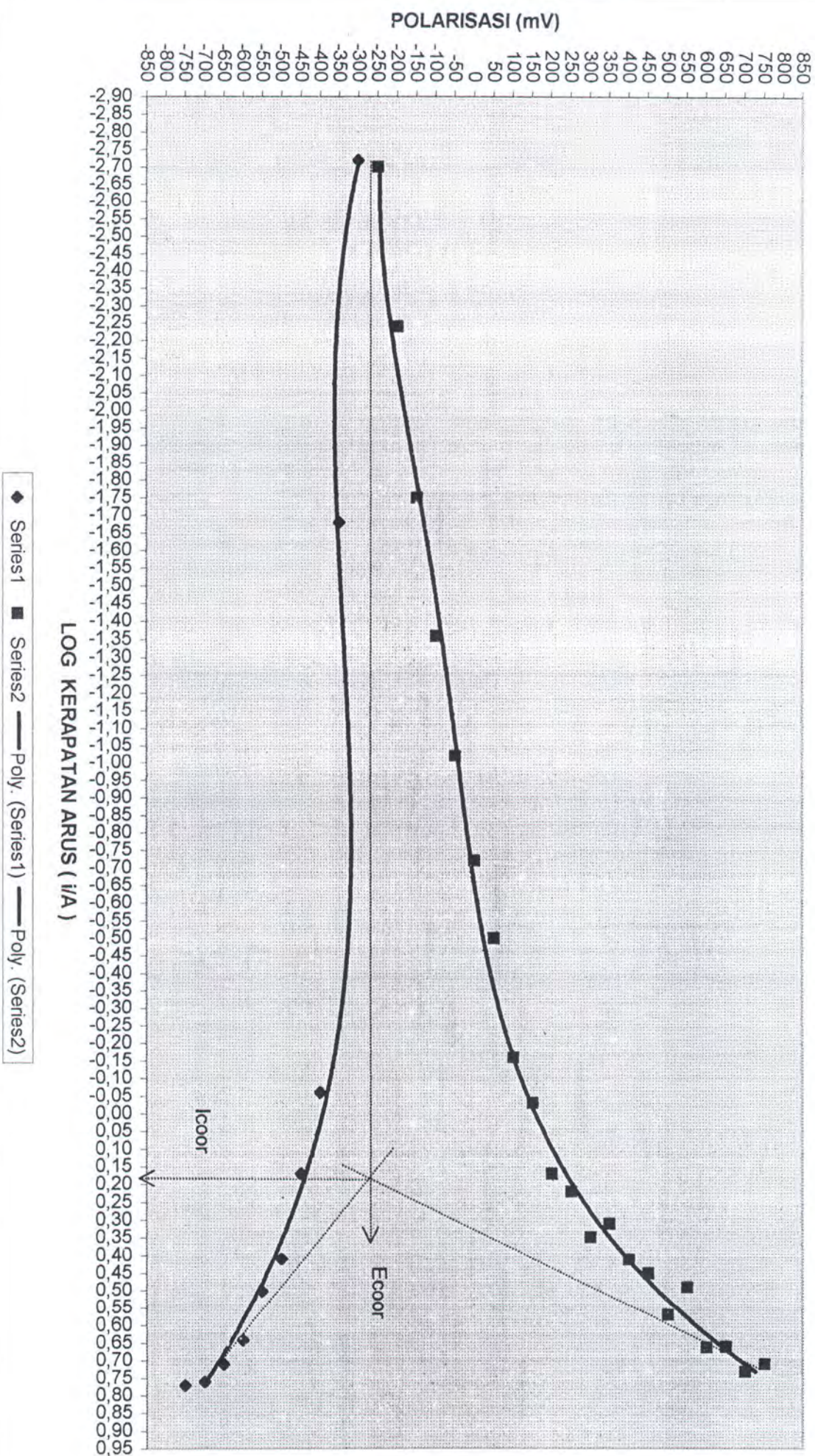


GAMBAR 6.17 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Zn pH 7



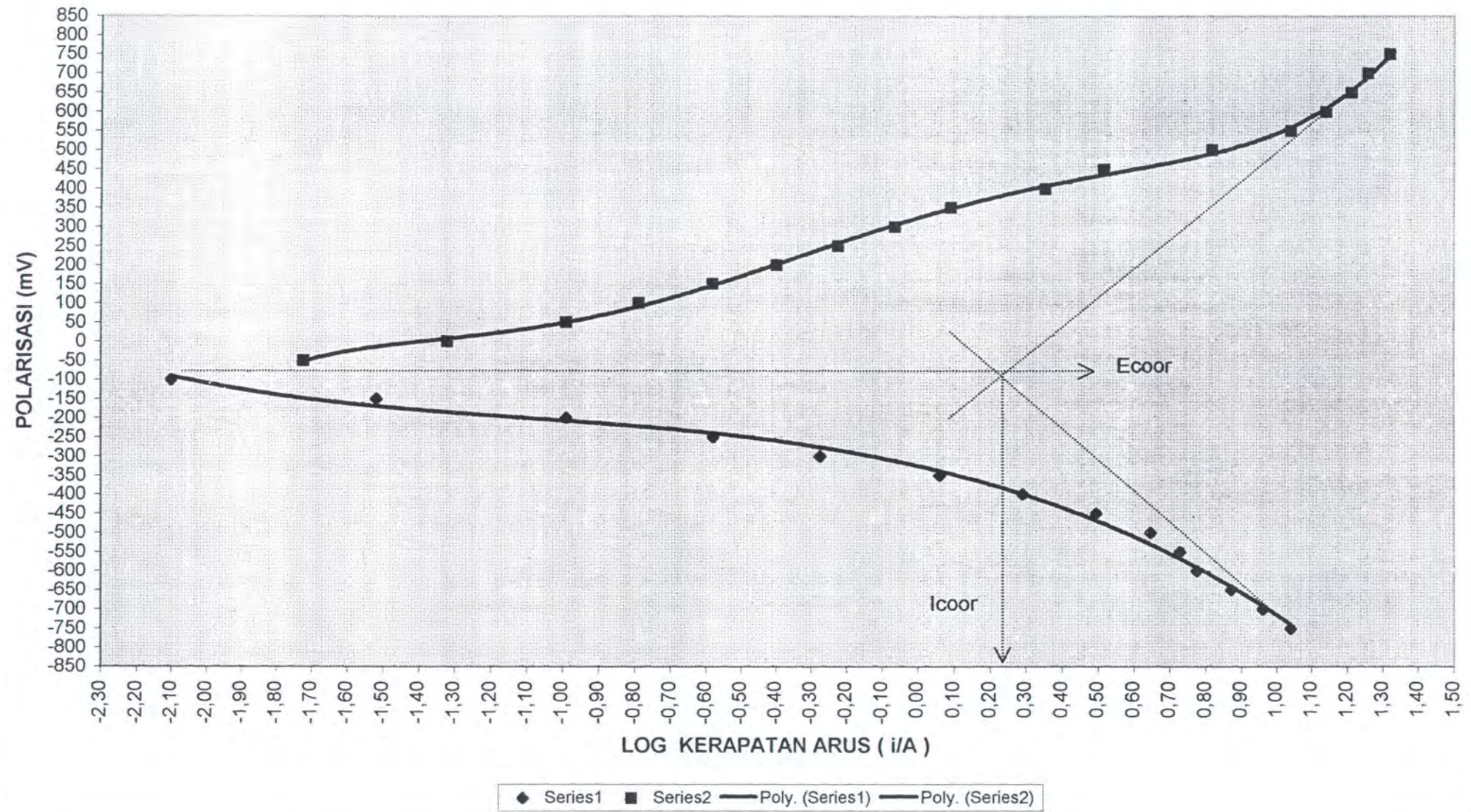


GAMBAR 6.18 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Zn pH 7



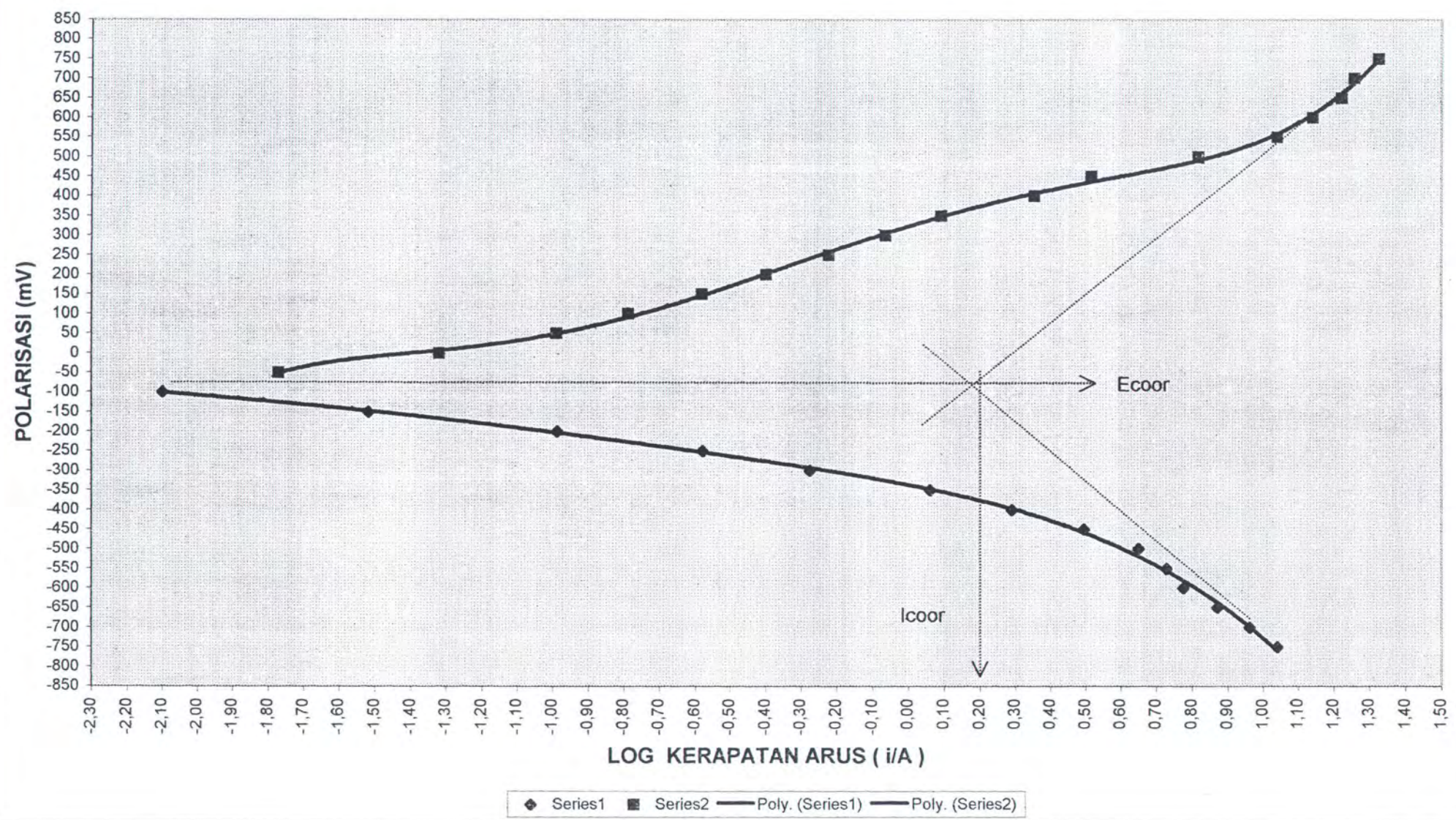


GAMBAR 6.19 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Al pH 5



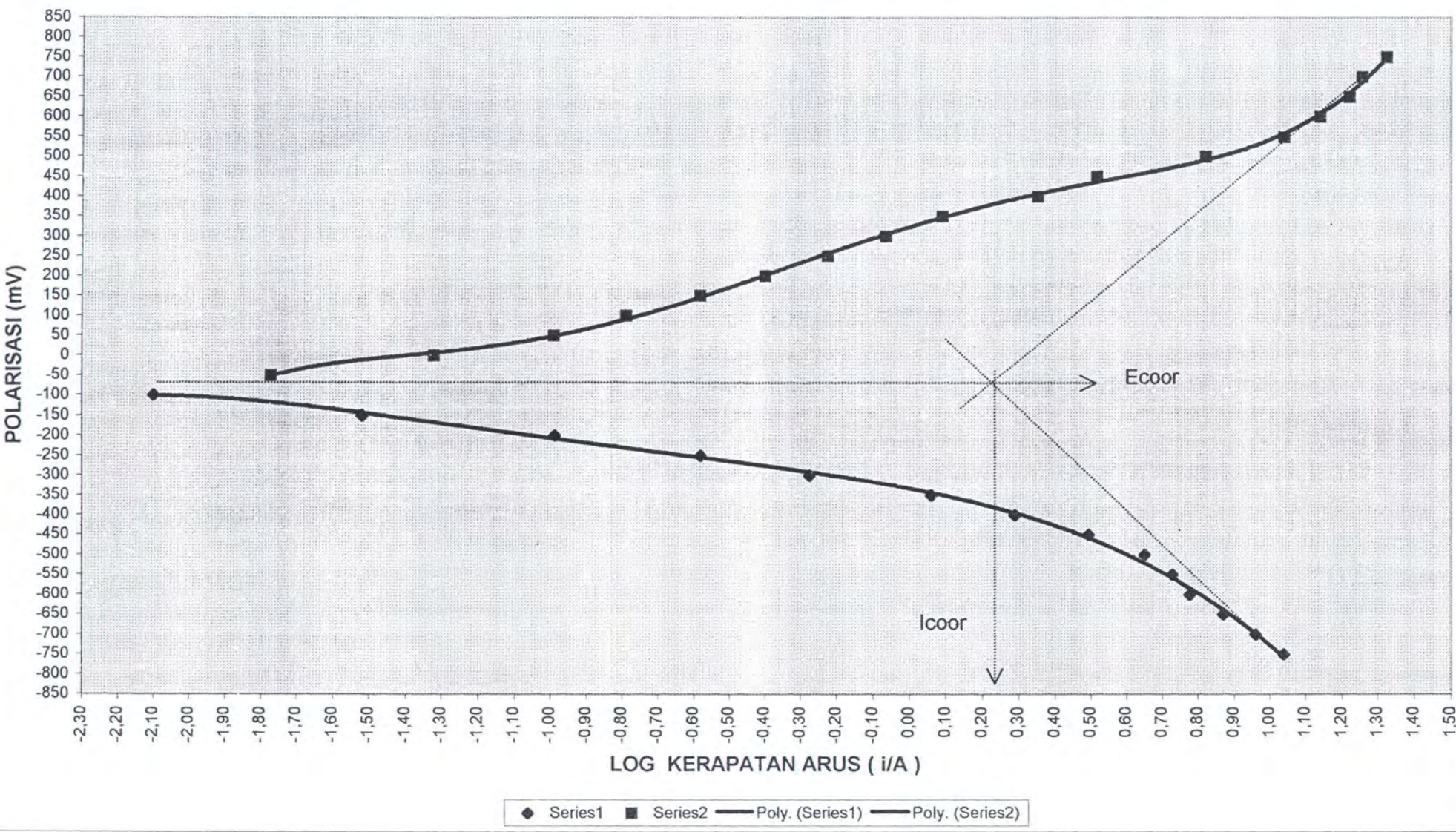


GAMBAR 6.20 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Al pH 5



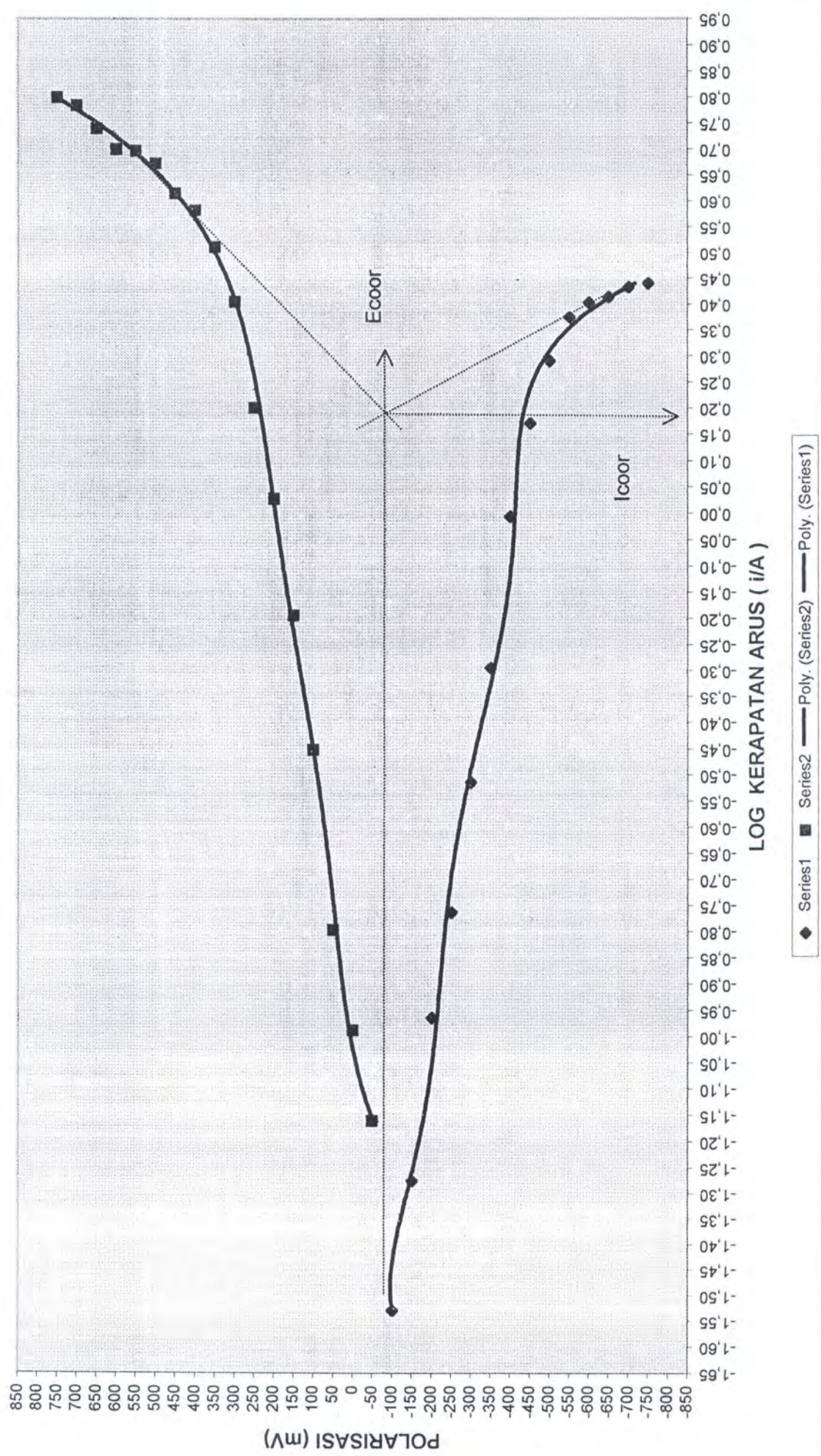


GAMBAR 6.21 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Al pH 5



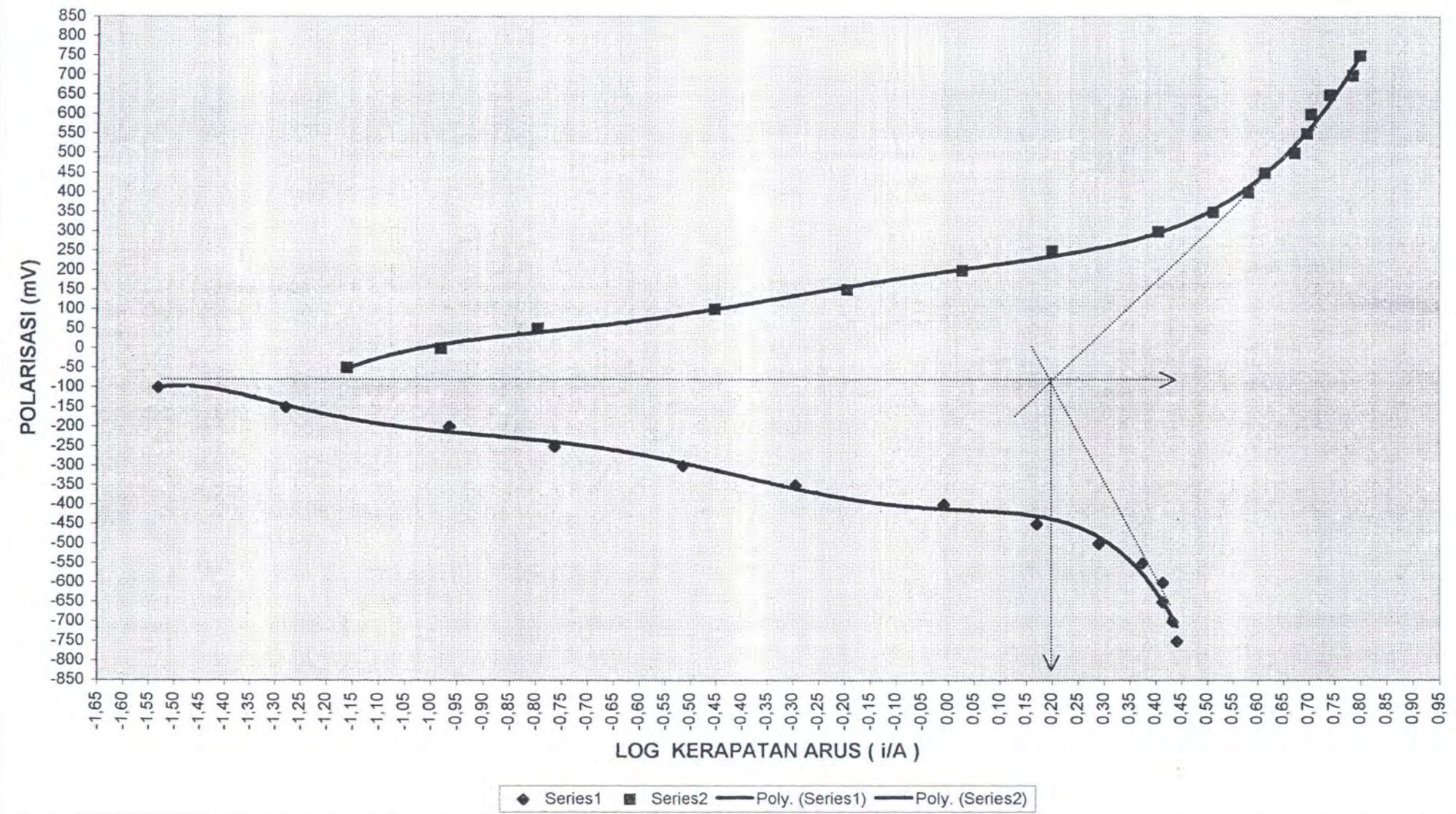


GAMBAR 6.22 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE AI pH 6



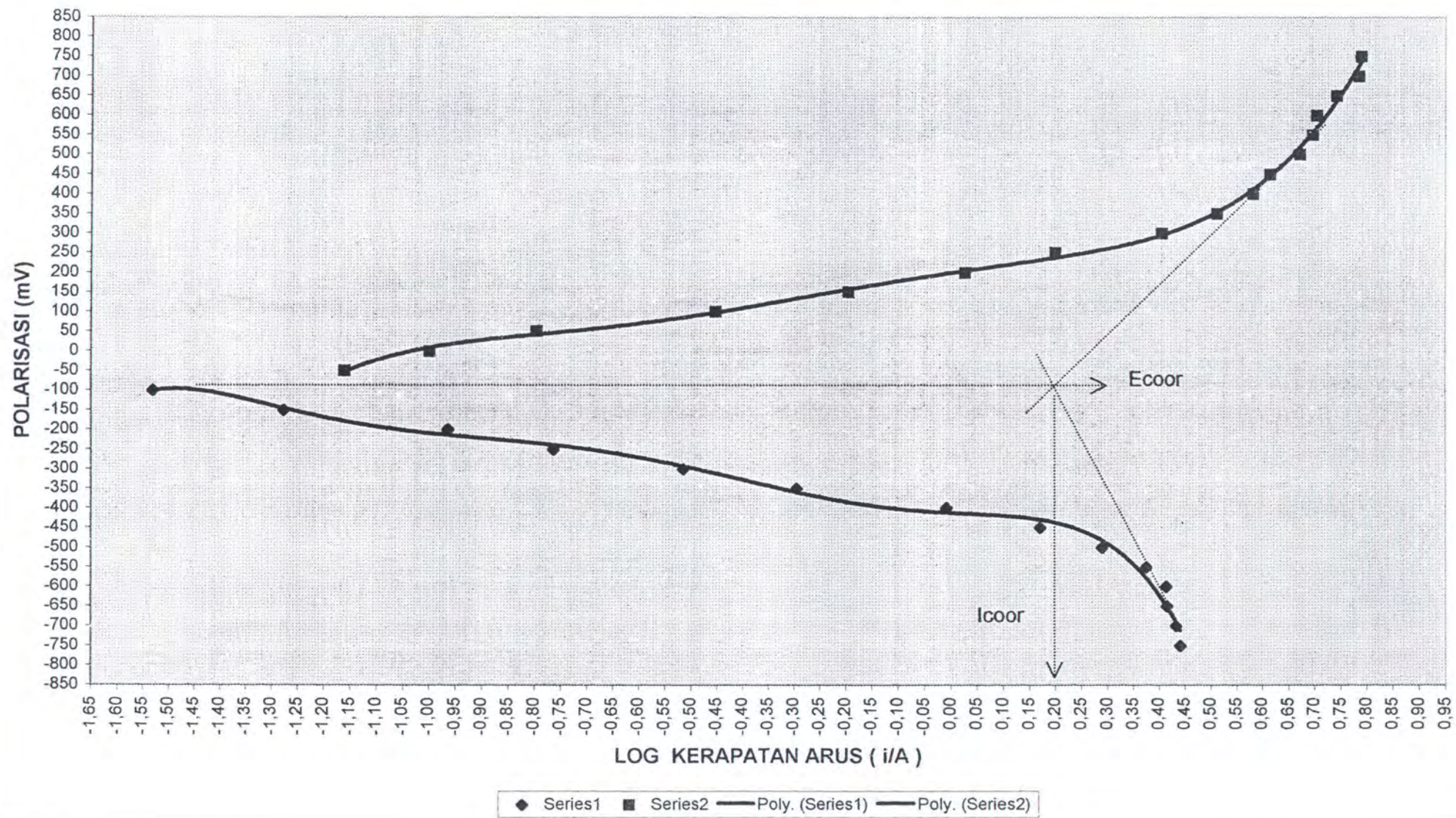


GAMBAR 6.23 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE AI pH 6



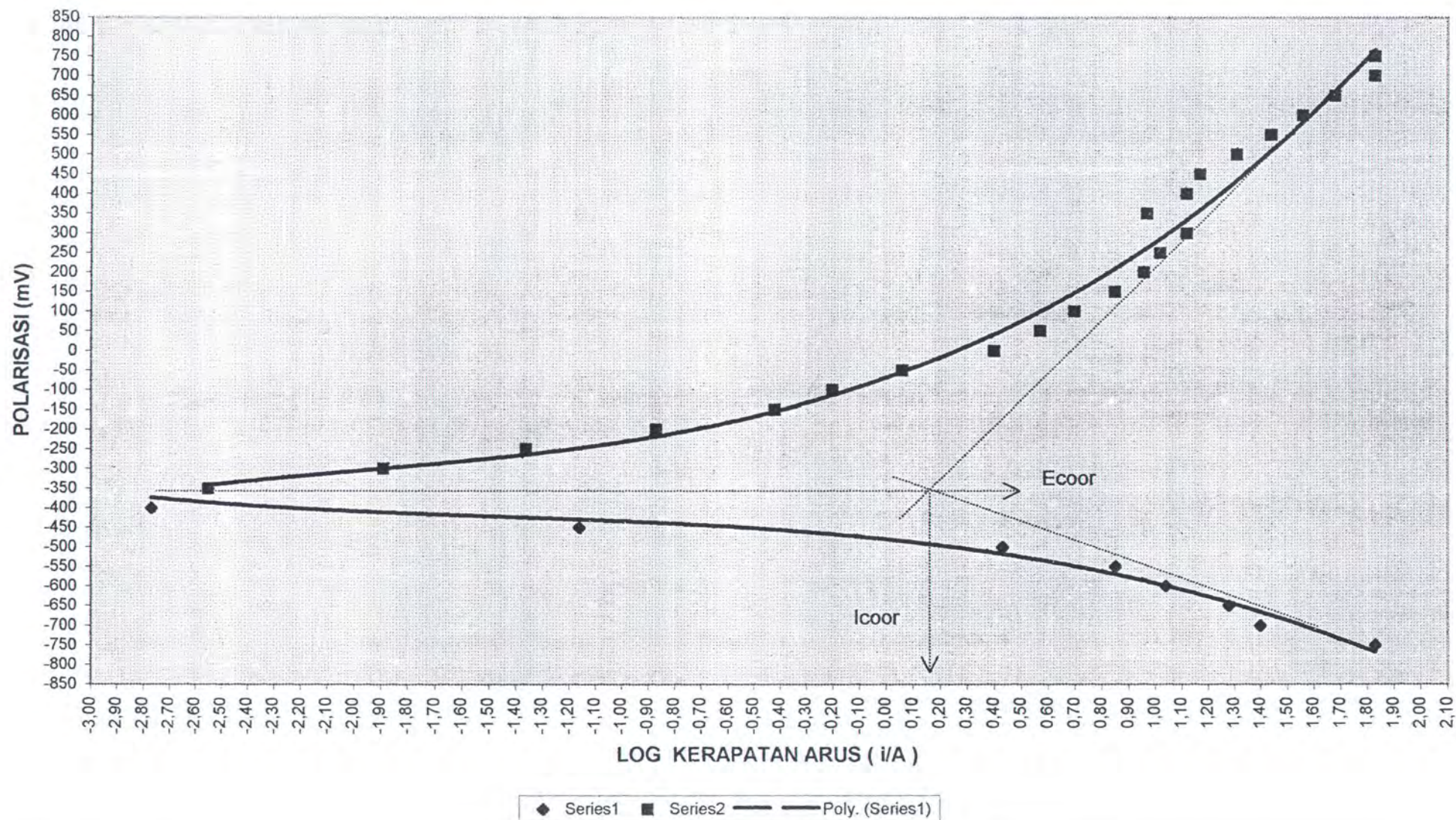


GAMBAR 6.24 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Al pH 6



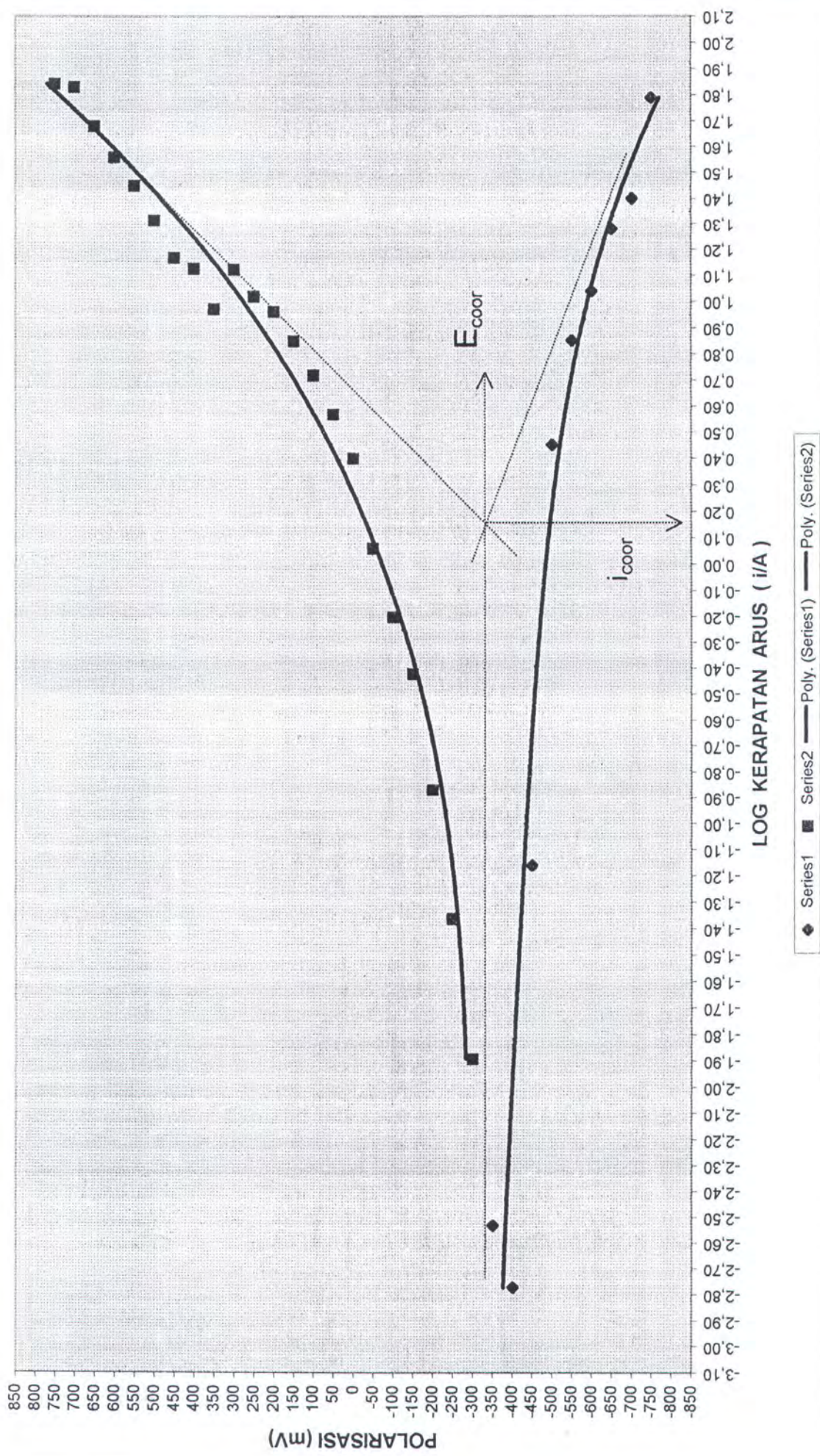


GAMBAR 6.25 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Al pH 7





GAMBAR 6.26 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Al pH 7





GAMBAR 6.27 GRAFIK STAINLESS STEEL E 304 COUPLE Al pH 7

